

Biogas från gödsel och gräs i kombination med dikalvsproduktion

– möjligheter och begränsningar

Biogas from manure and grass in combination with beef cattle production

– possibilities and limitations

Johan Andersson, Kristin Brunge & Tobias Walla



Biogas från gödsel och gräs i kombination med dikalvsproduktion – möjligheter och begränsningar

Biogas from manure and grass in combination with beef cattle production
– possibilities and limitations

Johan Andersson, Kristin Brunge & Tobias Walla

Handledare: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Ämnesgranskare: Ingrid Strid, institutionen för energi och teknik, SLU

Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 10 hp

Nivå, fördjupning och ämne: Avancerad nivå, A1N, teknik

Kurstitel: Projektarbete i energisystem

Kurskod: TE0013

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: foto OBI studio, 2013,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beauty_of_grass.jpg

Serietitel: Projektarbete i energisystem, institutionen för energi och teknik, SLU

Delnummer i serien: 2017:1

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: biogasanläggning, vall, vallodling, samrötning, klimatpåverkan, energigräs, energigrödor

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Abstract

Sweden has great potential for biogas production from manure, residues and energy crops. The environmental benefits are substantial, as the biogas production system reduces emissions from manure pits. The produced biogas can then also do well by replacing environmentally harmful electricity production or fuels.

In this project a model farm is studied. Specifications are taken partly from a real farm, and partly from assumptions based on literature and interviews. The model farm is 355 hectare, and has beef cattle production. The farm is expanding its grassland areas and the excess of grass production can be used as a substrate in a biogas plant, in combination with manure. This study also evaluates different promising energy grass varieties for biogas production, and in these comparisons reed canary grass and tall fescue get the best result.

Furthermore two scenarios are developed, based on information from the model farm. Scenario A deals with the construction of a biogas production plant at a single farm and Scenario B is based on a larger cooperative biogas factory with vehicle gas production. In scenario B it is proposed that the substrates from a larger constellation of substrate providers are digested together. The result shows that it can be difficult to reach financial profitability for scenario A, especially without governmental subsidies. Scenario B shows better profitability, but only if the produced gas can be sold at a sufficiently high price. The environmental benefits from the introduced biogas system are expected to be greatest in Scenario A, but only if the produced electricity is assumed to replace fossil-based electricity.

Sammanfattning

På jordbruk runt om i Sverige finns stor potential för biogasutvinning från gödsel, odlingsrester och energigrödor. Miljöfördelarna blir stora då rötningen minskar utsläpp från gödselbrunnar och den producerade biogasen kan ersätta fossila bränslen antingen genom att förbrännas till el och värme eller uppgraderas till fordonsgas.

Denna rapport är en del av det SLF-finansierade huvudprojektet *Vägar till lönsamma och växande företag med dikobaserad nötköttsproduktion*. Huvudprojektet syftar till att utreda vilka möjligheter det finns i Sverige att hitta ekonomiskt hållbara nötköttsföretag med utgångspunkt från dikor och slutuppfödning av kalvar. I denna delrapport utreds möjligheter och begränsningar för biogasproduktion på nötköttsbaserade lantbruksföretag.

En modellgård har tagits fram som är placerad i Svealands slättbygder och inom stödområde 4b. Underlag till modellgården är hämtade dels från ett verkligt lantbruk i området, dels från egna antaganden som bedöms karaktärisera området. Modellgården är ett dikobaserat lantbruksföretag med slutuppfödning och arealen uppgår till 355 ha. Marken bedöms vara lämplig främst för vallodling. En utgångspunkt i föreliggande studie är att vallodlingen på modellgården ska utökas så att överskott av ensilage kan användas som substrat i en biogasanläggning. Andra grödor bedöms inte vara aktuellt som substrat.

Rörflen och rörsvingel identifieras som de bästa energigrässorterna för biogasproduktion, men även foderlosta, timotej, engelskt rajgräs och ängssvingel visar goda resultat. För att bedöma energigräsen användes en matematisk modell som använder näringsdata för grässorterna för att beräkna potentiell biogasproduktion. Dessutom gjordes en bedömning av skördeavkastningen per hektar, för att rangordningen mellan energigräsen skulle bli rättvis. Ett viktigt kriterium vid urval och bedömning var huruvida energigräset skulle kunna fungera med samma maskinpark som dagens vallodling använder.

Två scenarion undersöks där scenario A behandlar uppförande av en biogasanläggning på modellgården och scenario B baseras på en större samrötningsanläggning belägen utanför gården. I scenario A förbränns biogasen för att alstra elektricitet och värme i ett kraftvärmesystem medan gasen i scenario B uppgraderas och säljs som fordonsgas.

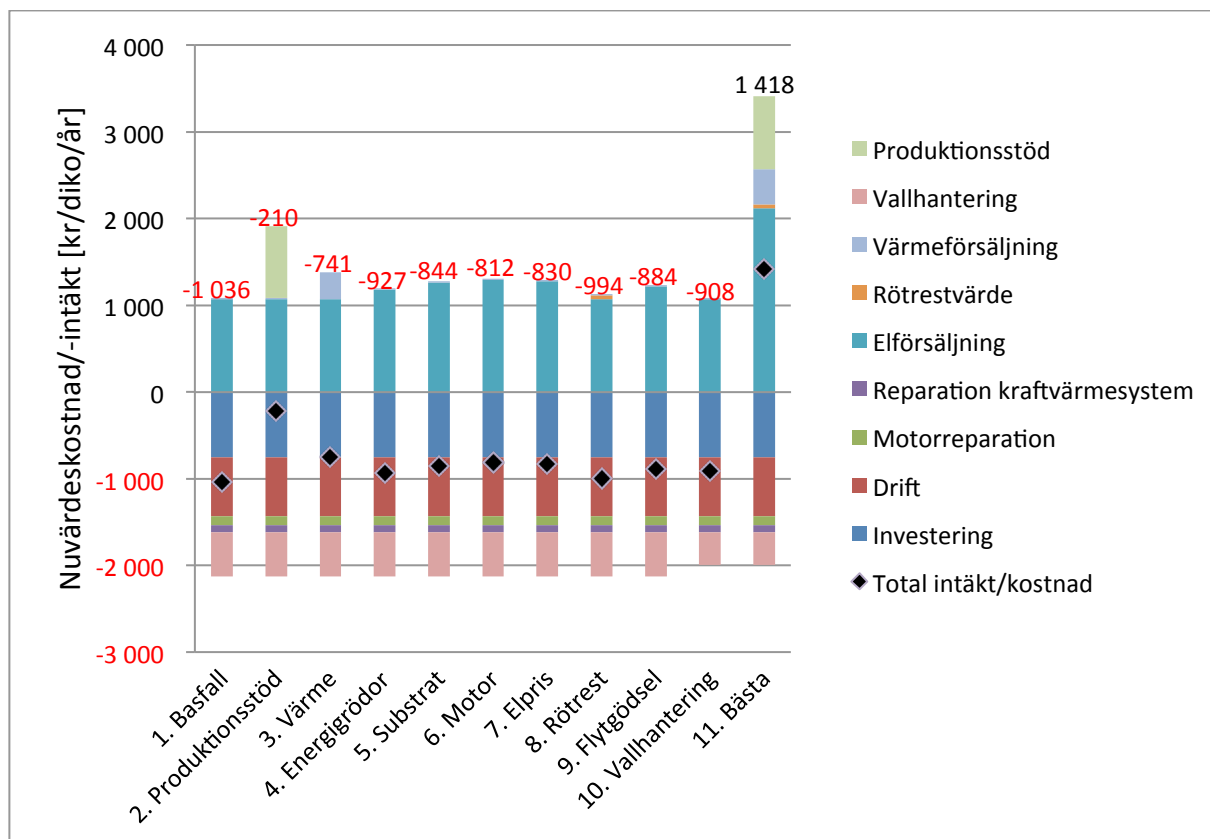
Scenario	Avsättning rågas
A (Gårdsanläggning)	El, värme
B (Samrötningsanläggning)	Fordonsgas

De ekonomiska kalkylerna har utförts med hjälp av nuvärdesmetoden, som beskrivs närmare i avsnitt 5.6. För scenario A har utöver ett framtaget basfall, tio andra scenarier utretts ur ett lönsamhetsperspektiv.

Fallnamn	Beskrivning
1. Basfall	
2. Produktionsstöd	Produktionsstödet på 200 kr/MWh producerad metangas införs.
3. Värme	Överskottsvärmen försäljs för 180 kr/MWh.
4. Energigrödor	Metanutbytet för energigrödorna ökar från 260 m ³ /ton TS till 300 m ³ /ton TS.
5. Substrat	Fall 4 med tillägg att även metanutbytet från gödseln ökar.
6. Motor	Motorns elverkningsgrad stiger från 29 % till 35 %.
7. Elpris	Elpriset genomgår en kraftigare prisökning på 6 % per år istället för 4 %.
8. Rötrest	Rötresten antas ha ett värde på 5 kr/ton våtvikt.
9. Flytgödsel	Tillgången på flytgödsel hålls maximal och kontinuerlig över hela året.
10. Vallhantering	Kostnaden för vallhantering minskar från 56 öre/kg TS till 42 öre/kg TS.
11. Bästa scenario	Kombination av fall 1-10.

För scenario B har utöver ett framtaget basfall även införandet av ett produktionsstöd på 200 kr/MWh behandlats i de ekonomiska kalkylerna.

Resultatet visar att det kan vara svårt att få ekonomisk lönsamhet för scenario A, speciellt utan det produktionsstöd på 200 kr/MWh producerad metangas, vilket för tillfället är under behandling av regeringen. Införs stödet finns potential för lönsamhet på gårdsnivå, men osäkerheten är fortfarande stor. Avsättningen för den producerade värmen är en potentiell inkomstkälla men beror på ifall gården kan hitta närliggande avsättning. Resultatet av de ekonomiska kalkylerna för de elva olika fallen redovisade som nuvärdeskostnad/-intäkt per diko och år visas nedan:



En investering i samrötningsanläggningen i scenario B visar däremot på lönsamt resultat under förutsättning att en köpare hittas till den producerade fordonsgasen. Enligt litteraturstudier bör gasen försäljas till 6,50 kr/Nm³ för att ett nollresultat ska uppnås. Ett beräknat nollresultat för scenario B på under 6,50 kr/Nm³ skulle alltså indikera en lönsam ekonomisk kalkyl. De ekonomiska beräkningarna på scenario B gav ett nollresultat vid ett försäljningspris på 5,57 kr/Nm³ fordonsgas utan produktionsstöd och 4,02 kr/Nm³ fordonsgas med produktionsstöd.

Att införa ett biogassystem för modellgården i scenario A kommer minska utsläppen av växthusgaser. Minskningen sker främst på grund av ändrad gödselhantering samt att kraftvärmesystemet producerar förnyelsebar el som kan ersätta annan mindre klimatvänlig el. Att ändrad gödselhantering minskar klimatpåverkan beror på att stora delar av att metangasen, som annars skulle avgå till atmosfären från gödselbrunnarna, samlas in och tas om hand. Klimatfördelarna för scenario A blir dock inte lika fördelaktiga som för liknande undersökningar på gårdsbiogassystem. Då modellgården inför biogassystemet tillkommer nämligen 53 ha jämfört med det tidigare systemet. På denna mark odlas energigräs som sedan rötas i biogasanläggningen och ger upphov till en rötrest, eller biogödsel, av större kvantitet än modellgården hade i det tidigare systemet. Klimatpåverkan ökar med ökad gödselmängd och på grund av detta blir inte förbättringen av växthusgasutsläpp lika stor som ifall gården skulle förfogat över lika mycket gödsel före som efter inrättandet av biogasanläggningen. Per ton gödsel sker dock en tydlig minskning av utsläppen. Ändrad gödselhantering i och med uppförandet av biogasanläggningen minskar gården klimatpåverkan med 800 kg CO₂-ekv (koldioxidekvivalenter) per år. Den förnyelsebara elproduktionen beräknas minska gårdens klimatpåverkan med 38 ton CO₂-ekv ifall svensk elmix ersätts, 361 ton CO₂-ekv ifall gaskombikraft ersätts samt 997 ton CO₂-ekv ifall kolkondenskraft ersätts.

Förord

Denna rapport utgör resultatet av en projektkurs på SLU vid institutionen för Energi och Teknik och utgör en del av civilingenjörsprogrammet i energisystem vid SLU och Uppsala universitet.

Projektdeltagare har varit Johan Andersson, Kristin Brunge och Tobias Walla. Projektet utfördes under 2011 och har haft till uppgift att undersöka vilka möjligheter och begränsningar det finns för att integrera biogasproduktion på ett dikobaserat lantbruksföretag med slutuppfödning. Pernilla Salevid har genom Avdelningen för produktionssystem, SLU Skara varit beställare för projektet. Ingrid Strid har varit ämnesgranskare och Åke Nordberg handledare och examinator för projektet, bägge vid institutionen för energi och teknik, SLU.

Projektgruppen vill tacka Pernilla Salevid och vår handledare Åke Nordberg för värdefulla synpunkter under projektets gång.

Johan Andersson
Kristin Brunge
Tobias Walla

Innehåll

1. Inledning	10
1.1 Bakgrund.....	10
1.2 Syfte	10
1.3 Metod	10
1.4 Avgränsningar.....	11
2 Biogas	12
2.1 Biogasprocessen.....	12
2.1.1 Biogasanläggningen	12
2.1.2 TS och VS	13
2.1.3 Temperatur	13
2.1.4 Alkalinitet och pH	14
2.1.5 Belastning.....	14
2.1.6 Uppehållstid	14
2.1.7 Dimensionering av anläggningen.....	14
3 Erfarenheter från rötning av gödsel och vall	16
3.1 Hagavik	16
3.2 Västerås biogasanläggning.....	18
3.3 Örebro biogasanläggning	18
4 Energigräs till biogasproduktion	19
4.1 Önskvärda egenskaper	19
4.2 Möjliga energigrässorter	19
4.3 Sammanställning av energigrässorter.....	20
4.4 Energigräs mycket lämpliga för biogasproduktion	21
4.4.1 Rörflen	21
4.4.2 Rörsvingel	22
4.5 Energigräs lämpliga för biogasproduktion	22
4.5.1 Foderlost.....	22
4.5.2 Timotej.....	23
4.5.3 Engelskt rajgräs.....	23
4.5.4 Ängssvingel.....	23
4.5.5 Rajsvingel.....	23
4.6 Energigräs ej lämpliga för biogasproduktion	23
4.6.1 Switchgrass	23

4.6.2 Elefantgräs	23
4.6.3 Bermudagräs	24
4.7 Vallblandningar.....	24
4.8 Ensilering av energigräs.....	24
5 Scenario A – Gårdsbaserad biogasproduktion	25
5.1 Modellgård.....	25
5.2 Substratflöden	27
5.2.1 Substrat period 1: 15 oktober – 30 april	28
5.2.2 Substrat period 2: 1 maj – 31 augusti	28
5.2.3 Substrat period 3: 1 september – 14 oktober	28
5.3 Dimensionering röt-kammare.....	28
5.4 Biogasproduktion	30
5.5 Dimensionering kraftvärme	30
5.6 Kostnader och intäkter	31
5.6.1 Anläggningskostnad.....	31
5.6.2 Avsättning el	32
5.6.3 Avsättning värme	34
5.6.4 Mervärde rötrest.....	35
5.6.5 Vallhantering.....	36
5.6.6 Investeringsstöd och produktionsstöd	38
5.6.7 Sammanfattning kostnader och intäkter	39
5.7 Ekonomiska beräkningar.....	40
5.7.1 Basfall	41
5.7.2 Produktionsstöd.....	41
5.7.3 Avsättning värme	41
5.7.4 Metanutbyte från energigrödor.....	41
5.7.5 Metanutbyte från energigrödor samt fast- och flytgödseln.....	42
5.7.6 Elverkningsgrad	42
5.7.7 Elpris	42
5.7.8 Rötrest	43
5.7.9 Full tillgång på flytgödsel	43
5.7.10 Vallhantering.....	43
5.7.11 Bästa scenario	43
5.7.12 Sammanfattning ekonomiska beräkningar	44

6 Scenario B - Samrötning	45
6.1 Utformning av biogasanläggningen	46
6.2 Kostnader och intäkter	46
6.3 Ekonomiska beräkningar.....	48
7 Miljöpåverkan	49
7.1 Översikt.....	49
7.2 Uppskattad klimatpåverkan från systemet	49
7.3 Rekommenderad fördjupning inom miljöområdet	52
8 Diskussion och slutsatser	53
9. Källförteckning	55
9.1 Tryckta källor.....	55
9.2 Elektroniska källor	55
9.3 Muntliga källor.....	59
BILAGA 1: Modell för beräkning av metanutbyte från vallgrödor	60

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I SLF-finansierade huvudprojektet *Vägar till lönsamma och växande företag med dikobaserad nötköttsproduktion* undersöks vilka möjligheter som finns i Sverige att hitta ekonomiskt hållbara nötköttsföretag med utgångspunkt från dikor och slutuppfödning av kalvar. Projektet avser att belysa olika produktionssystem och deras känslighet för framtida omvärldshändelser. Ett sådant scenario är ökade energipriser och skärpta styrmedel för att begränsa växthusgasutsläpp.

Det saknas svenska erfarenheter av biogasproduktion kombinerat med dikalvsuppfödning. Införande av biogasproduktion baserad på gödsel från dikor, ungnöt och vallensilage skulle kunna vara en möjlighet att minska utsläppen av växthusgaser från denna typ av nötköttsproduktion och samtidigt göra produktionen mindre beroende av inköpt energi. Även en rad andra positiva effekter skulle kunna uppstå såsom förbättrad växtnäringsbalans, växtföljd och lönsamhet.

Denna rapport har till uppgift att utreda möjligheter och begränsningar gällande biogasproduktion i kombination med dikalvsuppfödning och har genomförts som ett separat delprojekt i samarbete med Institutionen för Energi och Teknik på SLU Ultuna.

1.2 Syfte

Gödselproduktionen från dikobaserade lantbruk är kraftigt fördelad till vinterhalvåret, vilket innebär stora utmaningar för biogasanläggningar som baseras på rötning av gödsel. Detta projekt har till uppgift att ta fram systemlösningar som visar hur biogasproduktion kan integreras med dikalvsproduktion. De föreslagna systemlösningarna kommer att undersökas ur lönsamhets- och miljösynpunkt.

Projektet syftar även till att studera olika grässorter utifrån metan- och skördeutbyte för att utröna vilka gräs som lämpligast skulle passa som substrat i en röttningsprocess. Erfarenheter av rötning av gödsel och vall både på gårdsnivå och i större samröttningsanläggningar kommer utredas.

1.3 Metod

Beräkningar i rapporten utgår ifrån en framtagna modellgård som beskrivs ingående under avsnitt 5.1. Modellgården har tagits fram genom att studera ett verkligt dikobaserat lantbruk samt genom egna antaganden framtagna i dialog med beställare för projektet. Bland annat har andelen flytgödsel kontra djupströgödsel ökat.

Med dagens teknik är det inte lönsamt att uppgradera producerad gas till fordonsgas på gårdsnivå (Thorning et. al., 2010). Det har medfört att projektets beräkningar delats upp i två scenarier. Scenario A innebär att det sker rötning på gården och att producerad gas används till kraftvärmeproduktion, det vill säga att gasen förbränns och omvandlas till värme och el. I Scenario B transporteras gårdens gödsel och en viss mängd vallensilage till en närliggande samröttningsanläggning. Produktionen på samröttningsanläggningen bedöms vara tillräckligt stor för att det ska vara realistiskt att producerad gas uppgraderas till fordonsgas. En översikt över scenario A och B framgår i tabell 1.

Tabell 1. Projektets beräkningar utgår ifrån två scenarier.

Scenario	Avsättning rågas
A (Gårdsanläggning)	El, värme
B (Samrötningsanläggning)	Fordonsgas

Ekonomiska beräkningar har utförts med hjälp av nuvärdesmetoden. Erfarenheter från rötning av gödsel tillsammans med vall har erhållits genom både personlig kontakt med de berörda företagen samt genom litteraturstudier.

1.4 Avgränsningar

Projektet utgår ifrån en modellgård i Svealands slättbygder, vilket gör att framräknade resultat är beroende av de förutsättningar som gäller för just det området. Därmed inte sagt att rapportens resultat inte kan användas för djurbesättningar utanför nämnt område. Många av kostnaderna och intäkterna som redovisas i rapporten är oberoende av geografisk placering. När det gäller scenario B har kostnader och intäkter inhämtats från liknande projekt och ingen avvägning har gjorts ifall en samrötningsanläggning faktiskt är möjlig i det undersökta området. Inte heller någon avsättning för fordonsgasen har undersökts i området. Miljöpåverkansberäkningarna för scenario A avgränsar sig till att endast ta upp klimatpåverkan från ändrad gödselhantering och förnyelsebar elproduktion.

2 Biogas

Den svenska biogasproduktionen uppgick år 2009 till 1,4 TWh (Energimyndigheten, 2010). Samma år fanns det tolv gårdsanläggningar som totalt producerade 18 GWh, det vill säga drygt en procent av den totala produktionen. Biogaspotentialen är mycket stor inom jordbrukssektorn och uppskattas nationellt uppgå till 8 TWh inräknat en del praktiska begränsningar (Linné et. al., 2008).

Sverige har satt upp ett nationellt mål om att transportsektorn ska vara oberoende av fossila bränslen till år 2030 (Carlgren, 2010). Vidare har Sverige åtagit sig att 10 % av fordonsbränslet år 2020 ska komma från förnybar energi (Regeringskansliet, 2010). Ytterligare miljömål är EU:s gemensamma 20-20-20 mål. Det innebär att till år 2020 ska 20 % av energianvändningen komma ifrån förnyelsebar energi, energi ska användas 20 % effektivare och utsläppen av växthusgaser ska minska med 20 %. Sverige har sedan tidigare stor andel förnybar energi i den nationella produktionsmixen och därför kommer målet angående förnybar energi att vara 49 % för Sveriges del.

Det finns således många politiska mål angående förnybar energi och energieffektiv användning. Däremot saknas tydliga mål och riktlinjer för vilken roll just biogas har i den svenska omställningen till mer förnyelsebar energi. Det finns ett stort behov av mer förnybara drivmedel och där har uppgraderad biogas en självklar plats. Enligt studier för svenska förhållanden är biogas det förnybara drivmedel som har störst klimatnytta (Börjesson, et al. 2010). Speciellt stor blir nyttan då gödsel rötas. Ett annat användningsområde för biogas är kraftvärme där energin i gasen omvandlas till el och värme.

2.1 Biogasprocessen

I en rötningsprocess bryts organiskt material ned i en syrefri, anaerob, miljö med hjälp av olika typer av mikroorganismer. Under nedbrytningen bildas biogas vilken mestadels består av metangas och koldioxid. Liknande process sker naturligt i vommen hos kor och andra idisslare, men för att förloppet ska uppstå i en biogasanläggning krävs en rad tekniska lösningar. I kommande avsnitt beskrivs de olika delarna i biogasanläggningen samt väsentliga parametrar och begrepp som är bra att känna till för att få till en väl fungerande biogasprocess.

2.1.1 Biogasanläggningen

Utformningen av biogassystemet beror på vilket eller vilka substrat som ska rötas. Gemensamt för alla anläggningar är dock den så kallade rötkammaren, vilket kan ses som själva hjärtat, eller snarare magen i processen. Rötkammaren matas med substrat och det är här den huvudsakliga gasutvinningen sker genom att det organiska materialet bryts ned av olika mikroorganismer. Hur bra mikroorganismerna trivs bestäms av belastningen, pH-värdet, temperaturen samt uppehållstiden i rötkammaren - parametrar som beskrivs i följande avsnitt. Omrörning i rötkammaren är av stor vikt då en väl blandad substratblandning medför en jämn temperatur och att olika samverkande mikroorganismer kan komma i kontakt med varandra. Omrörning minskar även risken för att substratet sedimenterar på rötkammarbotten eller lägger sig som ett lock på substratytan och hindrar gasutveckling (Jarvis & Schnürer, 2009).

Olika typer av substrat behöver genomgå olika typer av förbehandling innan det slussas in i rötkammaren. Flytgödsel är redan till viss del nedbruten i komagen och kan matas direkt in i rötkammaren. Vallensilage kan antingen förblandas innan rötkammaren eller skruvas direkt in i rötkammaren. Vid förblandning gäller det att få till en homogen pumpbar blandning och detta görs

bäst genom att slussa ut rötkammarinnehåll till en mindre blandningsbrunn där vallensilaget tillsätts. Efter blandning pumpas substraten in i rötkammaren igen. En nackdel med denna typ av förbehandling är att pumparna kräver en hel del elenergi för att pumpa runt den ensilagerika blandningen (Edström, 2005). Genom att toppmata rötkammaren med ensilage genom skruvning kommer man runt problemet med att blandningen måste vara pumpbar. Dock krävs god omrörning i rötkammaren så att ensilaget blandar sig väl med resten av rötkammarinnehållet (Erjeby, 2011).

Djupströgödsel innehåller stor mängd halm, vilket ställer till en del problem i processen. Dels är halm på grund av dess höga fiberinnehåll relativt svårrotat, dels kan långa halmstrån fastna och skada pumpar och omrörare. Här krävs med andra ord sönderdelning av halmstråna. Fastgödseln kan precis som vallensilageget antingen tillföras i blandningsbehållaren eller toppmatas in i rötkammaren. Ska anläggningen röta produkter med animaliskt ursprung (till exempel slaktavfall och matavfall) måste substratet genomgå hygienisering. Hygienisering innebär att substratet hettas upp till 70 °C under en timme (Christensson, 2009).

När substratet har passerat rötkammaren kan ytterligare gas samlas upp i en så kallad efterrötningskammare. Rötresten ska sedan lagras i väntan på spridning på åkrarna. Bildningen av svämtäcke är svårare för rötresten i jämförelse med orötat gödsel, vilket gör att lagringsbehållarna kan behöva täckas för att undvika läckage av växthusgaser (Christensson et. al., 2009).

2.1.2 TS och VS

Ett materials torrsubstans erhålls genom att torka bort allt vatten vid en temperatur av 105 °C. TS-halten är då förhållandet mellan torrsubstansens vikt och materialets våtvikt. I rötkammaren bör substratblandningen ha en TS-halt på mellan 7 och 10 %. För låg TS-halt riskerar att tvätta ut mikroorganismerna medan en för hög TS-halt försvårar matning, pumpning och omrörning av materialet (Jarvis & Schnürer, 2009).

VS-halten (volatile solids) är ett mått på hur mycket organisk substans ett substrat innehåller. Organisk substans är av vikt eftersom det är denna fraktion av substraten som kan rötas och ge upphov till biogas. Mängden organisk substans fås fram genom att bränna torrsubstansen vid en temperatur av 550 °C. Det organiska materialet avgår då som rökgaser och kvar blir aska. Genom att subtrahera den ursprungliga torrsubstansvikten med vikten av kvarlämnad aska kan VS-vikten bestämmas. VS-halten är förhållandet mellan vikten av den organiska substansen och torrsubstansen. VS-halten för kogödsel brukar vara 70-80 % där resterande del utgörs av mineraler och annat oorganiskt material (Jarvis & Schnürer, 2009).

2.1.3 Temperatur

För att trivas vill mikroorganismerna i rötkammaren ha en varm miljö. Då mikroorganismer i en anaerob process inte alstrar någon egen värme måste värmen tillföras utifrån. Behovet tillgodoses oftast med värmeslingor placerade på insidan av rötkammaren (Jarvis & Schnürer, 2009). Energiåtgången för uppvärmning av rötkammaren brukar uppgå till 15-25 % av den producerade energimängden (Blomquist, et al. 2007). Vanligtvis hålls rötkammartemperaturen runt 37 °C vilket är i det så kallade mesofila området. Ett annat alternativ är att ha en temperatur på runt 55 °C, i det termofila området. Den termofila nedbrytningen är snabbare än den mesofila, men känsligare för temperaturskiftningar och hämmande ämnen. Dessutom krävs mer energi att värma rötkammaren till det termofila området. Det är viktigt att hålla temperaturen så konstant som möjligt i hela

rötkammaren, då temperatursvängningar minskar metanutbytet och påverkar pH-värdet. En jämn temperatur möjliggörs genom god omblandad samt välisolerad rötkammare.

2.1.4 Alkalinitet och pH

Mikroorganismerna i rötkammaren trivs bäst med ett pH-värde mellan 7 och 8,5. Alkalinitet ger ett mått på hur bra rötkammaren är på att buffra försurande ämnen (Jarvis & Schnürer, 2009).

2.1.5 Belastning

Belastningen anger hur mycket nytt material som tillförs rötkammaren per tidsenhet. För mesofil rötning bör belastningen ligga på 3-4 kg TS per m³ rötkammarvolym och dygn (Christensson, et al. 2009). Vid uppstarten av en biogasanläggning ska belastningen till en början vara mycket låg. Rötkammaren måste ges tid att bygga upp en grund av olika mikroorganismer för att klara en framtida normalbelastning. Tillförs för mycket organiskt material hinner inte mikroorganismerna med att bryta ned substratet, vilket kan leda till att olika fettsyror ansamlas. Följden blir att pH-värdet i rötkammaren sjunker och nedbrytningsprocessen blir instabil.

Successivt kan belastningen i rötkammaren höjas. Genom att hela tiden mäta biogasproduktionen, pH och alkalinitet kan en indikation ges om förhållandena i rötkammaren. Om metanproduktionen ökar i förhållande till den ökade belastningen och att pH-värdet och alkalinitet samtidigt hålls stabilt är processen på rätt spår.

Olika substrat är olika lätta för mikroorganismerna att anpassa sig till. Nötflyt gödsel är relativt lättsmält då det redan genomgått en nedbrytningsprocess i vommen hos nötkreaturen. Till exempel används nötgödsel som ympning i nya biogasanläggningar då det redan innehåller många av de mikroorganismer som är önskvärda i rötkammaren. Längre tid behövs för att mikroorganismerna ska anpassa sig till mer fiberrika växtmaterial som till exempel halm och vallgrödor. Det kan ta flera månader innan en ny biogasanläggning når normalbelastning.

2.1.6 Uppehållstid

Uppehållstiden anger hur lång tid det tar att byta ut allt material i rötkammaren. För att hålla volymen konstant i rötkammaren måste hela tiden material matas ut i samma utsträckning som det matas in. Lämpliga uppehållstider varierar beroende på det substrat som rötas. Ett lättrötat material som nötflyt gödsel når en hög utrötningsgrad, det vill säga att stor del av den organiska substansen har omvandlats till gas, på relativt kort uppehållstid. Mer fiberrika substrat som till exempel vallensilage behöver längre tid för att nå samma utrötningsgrad (Jarvis & Schnürer, 2009).

2.1.7 Dimensionering av anläggningen

Rötkammararens storlek beror av vilken uppehållstid som sätts och hur mycket substrat som matas in varje dygn. Utöver volymen för att hålla substratblandningen behövs ca 18 % rötkammarvolym som buffert där gasen kan mellanlagras (Thorning, 2010). Rötkammarvolymen utan buffert kallas aktiv rötkammarvolym medan volymen med buffert benämns definitiv rötkammarvolym. De både volymerna samt organisk belastning beräknas genom följande formler:

$$\text{Aktiv r\ddot{ot}kammarmvolym}[m^3] = \text{Uppeh\ddot{a}llstid}[dygn] \cdot \text{Fl\ddot{o}de av r\ddot{a}varor} \left[\frac{m^3}{dygn} \right]$$

$$\text{Definitiv r\ddot{ot}kammarmvolym}[m^3] = \text{Aktiv r\ddot{ot}kammarmvolym}[m^3] \cdot 1,18$$

$$\text{Organiskbelastning} \left[\frac{kg \text{ ts}}{m^3 \text{ dygn}} \right] = \frac{\text{Fl\ddot{o}de av r\ddot{a}varor} \left[\frac{kg}{dygn} \right] \cdot TS - \text{halt}}{\text{Aktiv r\ddot{ot}kammarmvolym}[m^3]}$$

3 Erfarenheter från rötning av gödsel och vall

På gårdsnivå finns väldigt få exempel på en lantbrukare som rötar gödsel och vall. I följande kapitel beskrivs en gårdsanläggning belägen i Hagavik, Skåne som emellertid har haft efterenhet av rötning av vall och gödsel. Lantbrukaren har idag övergått till att röta andra substrat, men lärdom kan tas utifrån hans tidigare rötningsförsök.

När en större vallinblandning ingår i biogasprocessen handlar det oftast om större samrötningsanläggningar som producerar fordonsgas. Två sådana anläggningar tas upp nedan och det är Gryta avfallsstation i Västerås och Örebro biogasanläggning.

3.1 Hagavik

I Hagavik utanför Malmö upprättade lantbrukaren Krister Andersson år 2003 en biogasanläggning för rötning av betblast, vallgröda och bageriavfall, se figur 1. Anläggning kan vara av intresse för detta projekt i och med att lantbrukaren till en början använde en stor del vallgrödor som substrat. Idag har dock Krister Andersson övergått till att röta livsmedelsavfall och kycklinggödsel (Bioenergiportalen, 2008). Erfarenheter från Hagavik samt varför lantbrukaren övergav vallrötning har sammanställts i detta avsnitt.

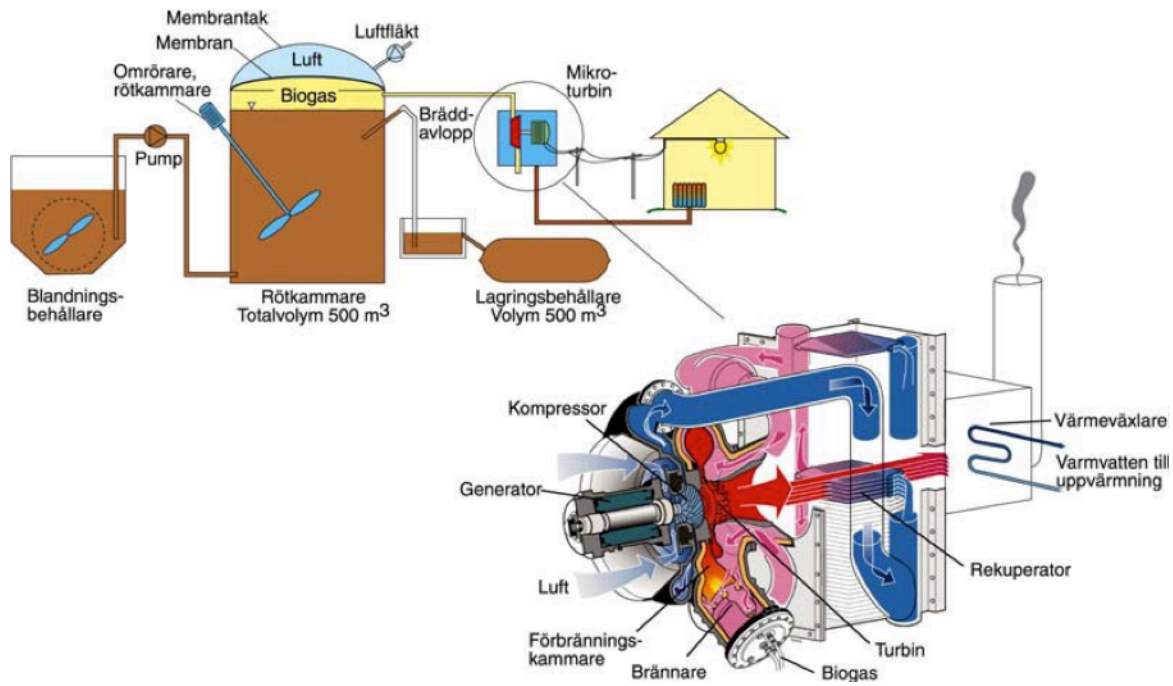


Figur 1. Hagaviks biogasanläggning

Krister Andersson odlar raps, vete, korn, rödbetor och sockerärtor. Gården är helt ekologisk vilket utesluter näringstillförsel med hjälp av handelsgödsel. Då Hagavik inte har någon djurhållning är tillgången på bra gödsel begränsad. Det var med anledning av detta som Krister Andersson började intressera sig för biogasprocessen då rötresten ger en högvärdig gödsel. Av biogasen kunde även en inkomst tänka erhållas i och med kraftvärmeproduktion.

År 2003 anlades biogasanläggningen i Hagavik. Till en början handlade mycket om att få igång en bra röttningsprocess. Vid uppstarten av en rötkammare förändras successivt den kemiska sammansättningen, belastning och gasproduktion tills slutligen en stabil process erhålls. Genom att öka belastningen lite i taget under mätning av biogasens sammansättning och pH i rötkammaren kunde processen sakta justeras in. För att öka rötkammarens buffertkapacitet fick kalk tillföras upprepade gånger.

De fiberrika substraten i form av vallgröda, hästgödsel (innehållandes mycket halm) och betblast genererade en trögflytande blandning vilken kunde vara svår att blanda om och pumpa. Substraten blandades innan tillförsel till rötkammaren i en blandningsbehållare. En översikt över biogasanläggningen med kraftvärmesystem kan beskådas i figur 2.



Figur 2. Skiss över biogassystemet på Hagavik.

Illustration: Kim Gutekunst

Vid tillförsel av ensilerad vallgröda krävdes blandning med röt-kammarinnehåll för att få en pumpbar mix. Bäst resultat fick anläggningen ifall en del ensilage med TS-halt på 20 % förblandades med tio delar substratblandning med en TS-halt på 4,5 %. Den tid det tog att förbereda 1 ton ensilagesubstrat var cirka 15-20 minuter vilket inkluderade hämtning av ensilage från lagret, tippning i blandnings-behållaren samt med hjälp av blandnings-behållarens omrörare erhålla en homogen mix. Tidsåtgången hade dock kunnat minskas genom investering i ett avlastarbord där några dagars ensilagebehov kunde lagras. Då vallandelen ökades i substratblandningen under sommarhalvåret uppstod missljud från skruvpumpen mellan blandnings-behållare och röt-kammare beroende på att substratblandningen blev mer trögflytande (Edström, et al. 2005).

På Hagavik gjordes försök att tillföra färsk vallgröda i blandnings-behållaren. Den färska vallgrödan var dock obenägen att blanda sig med substraten och flöt oftast på ytan. Bättre var det med ensilage, vars högre densitet gjorde att substratet sjönk ned och beblandade sig bättre. Om däremot förbehandling av ensilaget skedde i en mixervagn minskade benägenheten att sjunka och det var svårare att uppnå en homogen substratblandning. Anledningen till detta var att mixervagnen luckrade upp ensilaget och därmed sänkte dess densitet (Edström, et al. 2005).

Numera rötas livsmedelsavfall och kycklinggödsel i biogasanläggningen i Hagavik. Den höga fiberhalten i de ursprungliga substraten krävde att mycket tid lades ned för tillredning av blandningarna och gasproduktionen var relativt låg. Substratblandningen blev trögflytande vilket ställde höga krav på pumpar och omrörare vilka krävde mer elenergi. Efter råvaruutbytet har gasproduktionen mer än fördubblats, från 400 m³ per dygn till drygt 1 000 m³ per dygn (Bioenergiportalen, 2008).

3.2 Västerås biogasanläggning

I Västerås vid Gryta avfallsstation anlades sommaren år 2005 en biogasanläggning för att varje år röta cirka 14 000 ton bioavfall, cirka 4 000 ton slam från fettavskiljare och cirka 5 000 ton vallgrödor. Bioavfallet består mest av matrester från hushåll och restauranger (Svensk Växtkraft, 2010). Varje år produceras ca 23 GWh fordonsgas.

Initiativet till biogasanläggningen i Västerås togs år 1990 av några lokala lantbrukare. Genom att anlägga ett biogassystem med livsmedelsavfall och vallgröda som substrat kunde ett gödningsmedel erhållas i form av biogasprocessens rötrest. I dag producerar anläggningen i Västerås 3 500 ton fast biogödsel och 13 000 ton flytande biogödsel. Biogödseln hjälper till att bibehålla växtnäringen hos de berörda lantbruken och inget handelsgödsel behöver längre köpas in.

3.3 Örebro biogasanläggning

Sedan oktober år 2009 producerar samrötningsanläggningen i Örebro 6 miljoner Nm³ (58 GWh) fordonsgas per år. Fordonsgasen används för att köra samtliga Örebros innerstadsbussar samt levereras till en del lokala publika biogastankstationer. Sedan januari år 2010 säljs även en del gas till Stockholm Gas (Swedish Biogas International, 2011). Anläggningen rötar endast växtmaterial, främst i form av vall, men även majs samt drav där det senare är en restprodukt från öltillverkning.

Insamlingen av energigrödor sker runt en radie på ca 2 mil från anläggningen. Biogasanläggningen arrenderar ca 500 ha mark (5 års perioder) för energigrödor och betalar lantbrukarna per ha och ton TS. Jordbrukaren levererar vallen till en lagringsplatta utanför anläggningen direkt efter varje skörd. Vid lagringsplattan plastas gräset in i så kallade korvar. I anslutning till samrötningsanläggningen finns en gödselbrunn på 5 000 m³ där rötresten mellanlagras. En anställd åkare ansvarar sedan för att leverera biogödseln ut till lantbruken (Forslund, 2011).

4 Energigräs till biogasproduktion

Att blanda in någon typ av energigröda i röt-kammaren kan få positiva effekter, både för utvunnen rågasmängd och för odlingssystemet i sin helhet. Ofta talas det om så kallade synergieffekter där en kombination av olika rötsubstrat ger högre biogasproduktion än vad de olika substraten skulle gett var och en för sig. Nötgödsel har en relativt låg C/N kvot (kol-kväve-kvot), vilken kan justeras upp i och med inblandning av vall. Vall i sin tur saknar viktiga spårämnen som det å andra sidan finns gott om i kogödseln (Nordberg, 2011).

En energigröda bör uppfylla vissa kriterier för att fungera bra som biogassubstrat. Den ska generera hög avkastning och samtidigt vara lätt att odla. Energigrödan skall även gå bra att ensilera och lagra för att möjliggöra jämn tillförsel till röt-kammaren över året. Fiberhalten i växtmaterialet bör vara låg då en hög andel fiber försvårar nedbrytnings- och rötningsprocessen.

Detta projekt har begränsats till att undersöka energigrödor i form av gräs. Detta eftersom energigräs är en intressant odlingsgröda för modellgårdens åkermark och att det saknas sammanställningar av information inom detta område.

4.1 Önskvärda egenskaper

Studien definierar fyra egenskaper som avgör lämpligheten hos energigräset:

- Hög avkastning (grödans produktivitet)
- Uthållighet
- Högt metanutbyte vid rötning
- Ska kunna odlas och skördas med samma maskiner som vid vallodling

I detta projekt undersöks biogaspotentialen för energigrödor vid ett produktionssystem med dikor. Ett särskilt fokus riktas mot olika sorter av energigräs.

Det är av stor vikt att åkerns avkastning är hög, även på marker som inte är aktuella för spannmålsodling. Detsamma gäller för uthålligheten. Gräset måste vara flerårigt, ha god vinterbeständighet samt klara flera skördar per år. Dock ger ett ökat antal skördar en kostnadsökning i och med ökad maskinanvändning och arbetskostnad. Vidare bör metanutbytet vara så högt som möjligt.

Det är också viktigt att energigrödan kan odlas och skördas med den befintliga maskinparken. För detta projekt innebär det att energigräsen ska ha samma maskinbehov som vallodling. Detta för att erhålla skalfördelar som i sin tur kan vara avgörande för ekonomin (Johansson, 1982).

4.2 Möjliga energigrässorter

Efter samråd med Elisabet Nadeau vid SLU i Skara utvaldes tio olika energigräs som var av extra stort intresse. Sju stycken är vallgräs som i vissa fall odlats sedan länge i Sverige, medan de tre resterande är vanligare i utlandet (switchgrass, elefantgräs och bermudagräs). För varje energigräs har medelavkastning per år samt metanutbyte redovisats. Metanutbytet har dels hämtats från genomförda laboratorieförsök, dels beräknats med hjälp av en modell (Weissbach, 2008) som beskrivs närmare i bilaga 1. Modellen använder energigräsets ask- och fiberhalt för att beräkna hur stor del som är rötningsbar enligt ekvationen nedan.

$$\text{Metanproduktion} = (969 - XA + 0,26 * XF - 0,00300 * (XF)^2) * 420$$

Enheten för metanproduktionen är normalkubikmeter CH₄ per kg organiskt material. XA står för *crude ash* och XF står för *crude fibre*.

Detta värde ger en bra uppskattning av hur stort metanutbytet blir. Genom att använda sig av denna modell kan man lättare jämföra de olika energigräsen med varandra. Då slipper hänsyn tas till att olika laboratorieförsök använder olika metoder och utrustning. Dock har resultatet korrigerats ned till 75 % av det beräknade. I verkligheten blir nämligen metanutbytet lägre än det teoretiskt möjliga och räknas därför ner för att ge ett rimligare resultat. I denna rapport används 75 % utröttningsgrad, efter samråd med Åke Nordberg, SLU. Detta värde ligger inom intervallet 35-90 % som anges i "Handbok gaspotential" (Carlsson et. al. 2011).

Skördemängder för de olika undersökta gräsen är framtagna på olika sätt. Värdena för rörflen är uppskattad i samråd med Pernilla Salevid, SLU med avseende på Svealands slättbygder, medan de flesta andra värdena kommer från medelvärden för ekologiska sortförsök. Dessa sortförsök är belägna på tre olika platser, där två av platserna har liknande förutsättningar som modellgården, och den tredje är något bättre. Därför kan man anta att dessa skördemängder är något överskattade i förhållande till verkligt utfall.

Med hjälp av skördemängden har metanutbytet per hektar beräknats. Med detta menas hur många kubikmeter metan som erhålls efter en biogasprocess baserad på substraten från en markyta på en hektar. För de flesta vallgräs hamnar den siffran någonstans mellan 1500 och 2000 Nm³ metan per hektar och år.

I denna rapport har följande gränser dragits för att utvärdera energigräsen. Rörflen, som har identifierats som ett väldigt bra alternativ, har använts som basfall.

- *Högt biogasutbyte motsvarar 95-105 % av basfallet (Rörflen: 379 m³/ton TS). Medelhögt motsvarar 75-95 % och lågt motsvarar under 75 %.*
- *Hög avkastning motsvarar i detta område ca 5-7 ton TS per år. Medelhög motsvarar 3-5 och låg motsvarar upp till 3. Över 7 ton TS räknas som mycket god avkastning.*
- *Metanutbytet per hektar har räknats som mycket bra över 1800 Nm³/ha.*

4.3 Sammanställning av energigrässorter

Genomgången visar att rörflen och rörsvingel lämpar sig bäst som biogasgröda, och att foderlosta, timotej, engelskt rajgräs och ängsvingel också skulle kunna vara lämpliga. Rajsvingel, som tyvärr inte hunnit genomgå så många odlingsförsök ännu, passar troligtvis också bra för biogasproduktion (se avsnitt 4.5.5). Viktigt vid val av energigräs är att man anpassar valet efter platsen och undersöker lokala erfarenheter av odling av gräset. Det skiljer sig nämligen inte så mycket åt mellan olika gräs, så därför bör man vara öppen för att titta på flera sorter. En sammanställning över de tio energigräsens lämplighet som biogasgrödor redovisas i tabell 2. I avsnitt 4.4–4.6 ges vidare beskrivning av de tio energigräsen.

Tabell 2. Sammanställning över energigräsens egenskaper. Sorterat efter metanutbyte per hektar.

Energigräs	Beräknat metanutbyte (m ³ /ton TS)	Metanutbyte från laboratorieförsök (m ³ /ton TS) ¹	Årlig skörd (ton TS/ha)	Praktiskt årligt metanutbyte (Nm ³ /ha) ²	Lämplig för biogas?
Rörflen	379	ca 300	Ca 7	1990	ja, mycket
Rörsvingel	378	-	6,4	1829	ja, mycket
Foderlost	347	-	Ca 6,3	1640	ja
Timotej	379	ca 300-500	5,7	1630	ja
Engelskt rajgräs	379	ca 200-600	5,6	1582	ja
Ängssvingel	377	ca 270-600	5,5	1542	ja
Rajsvingel	-	-	7,9	-	troligtvis
Switchgrass	350	-	-	-	nej
Elefantgräs	367	-	-	-	nej
Bermudagräs	372	-	-	-	nej

Källor: ¹ A. Prochnow (2009) Bioenergy from permanent grassland.

² Praktisk utrotning motsvarar ca 75 % av maximal utrotning.

4.4 Energigräs mycket lämpliga för biogasproduktion

4.4.1 Rörflen

Rörflen är högvuxet, flerårigt och vassliknande gräs som har ett kraftigt rotsystem. Alla ovanjordiska delar vissnar under vintern. Gräset tål fuktiga marker och kan klara översvämningar. Den går även bra att odla på mulljordar. Torra förhållanden ger dock betydligt sämre avkastning. Rörflen kan förökas genom att sprida det sönderhackade gräset under harvningen. Från lederna kommer det då nya skott. Rörflensodlingar har visat sig kunna bli i princip permanenta (Johansson, 1982). Dock är uthålligheten hos en rörflensvall för biogasproduktion inte undersökt. Det kan innebära problem att odla rörflen ekologiskt, eftersom den kräver mycket kväve. Även besprutning kan behövas, eftersom gräset växer så pass långsamt vid etablering. Örtogräs kan därför behöva besprutas vid uppkomst, samt rotosträvs innan etablering (Palmborg, 2010).

Rörflen används idag framgångsrikt som energigröda till förbränning. Detta ändamål kräver dock helt andra förutsättningar än biogasprocessen. Vid förbränning önskas ett torrt gräs med högt cellulosa-innehåll. Detta erhålls bäst genom att skörda fjolårsgräs tidigt på våren, och i övrigt låta bli att skörda under året. Eftersom näring från gräset går ner i rötterna på hösten blir gräset väldigt livskraftigt och kan därför ge goda skördar år efter år. För biogasändamål behövs ett substrat med så hög bladmassa som möjligt, och därför krävs ett helt annat skördesystem. Det är inte möjligt att använda fjolårsgräs, utan man tar istället årsgräset med ca 1-3 skördar per år. Tidig skörd är mest fördelaktigt, eftersom mängden strå i förhållande till bladmassa ökar över året. I försök har det visat sig att antal skördar per år bör vara två för optimal biogasproduktion (Geber, 2002). Därigenom maximeras både kvantitet (skördemängd) och kvalitet (rötningspotential). Detta illustreras i tabell 3. Geber påpekar dock att treskördesystemet möjligen kan optimeras genom att ta första skörden (med

hög rötningspotential) tidigare och andra skörden (med hög avkastning) senare på året. Försöken är genomförda i Uppsala under 1996 och 1997.

Tabell 3. Påverkan på kvalitet och kvantitet ur biogasperspektiv beroende på antal skördar per år avseende rörfbensodling. Skördarna är tagna följande datum: 2 skördar (11 juni och 21 aug), 3 skördar (11 juni, 16 juli och 21 aug), 4 skördar (11 juni, 4 juli, 30 juli, 21 aug)

	Kvalitetsmått: Total rötningspotential = DOM Digestible organic matter (ton/ha)	Kvantitetsmått: Totalt skördemängd = DM Dry matter (ton/ha)
2 skördar	5,4	9,4
3 skördar	4,5	6,5
4 skördar	4,4	6,0

En biogasanläggning som kan röta ensilerat vallgräs klarar även av att röta rörflen. Det krävs alltså inga tekniska förändringar för att rörflen ska kunna ingå som substrat (Svensson, 2011). I kalkylerna används 7 ton TS/ha som totalskörd. Denna siffra är ett troligt utbyte som kanske snarare ligger i underkant än överkant av vad som är rimligt. Den extra marginalen kan behövas eftersom biogasvallar från rörflen ännu ej studerats under en längre period, och det därför råder en viss osäkerhet kring hur exempelvis återväxten och uthålligheten påverkas.

Högt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.4.2 Rörsvingel

Rörsvingel är ett alternativ till ängssvingel som ofta är mer produktiv samt tålig. Sorten Swaj är sedan år 2005 intagen på den svenska sortlistan. Den är långsam i etableringen, men har dock en mycket god återväxtförmåga (SLU, 2006).

Om man däremot korsar rörsvingel med italienskt rajgräs erhålls rörsvingelhybriden Hykor. Detta ger en högavkastande sort som på senare år börjat ingå i svenska vallblandningar. När Hykor ingår i vallblandningen ökar normalt avkastningen från andra och tredje året med 10-15% (Scandinavian Seed, 2011).

Högt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.5 Energigräs lämpliga för biogasproduktion

4.5.1 Foderlost

Foderlost är flerårig och högväxande, med kraftigt och utbrett rotsystem. Den har hög tolerans mot torka, och kommer därför bäst till sin rätt i torra områden. Den har också lång uthållighet, ca 10 år, på grund av sina underjordiska utlöpare. På det sättet påminner den en del om rörflen. Foderlost är känslig som betesgräs, då det ej tål nedtrampning så väl. Enligt projektet Agro-Fiber hade foderlost betydligt sämre avkastning än rörflen (Geber et. al., 1993). Kombinerat med att metanutbytet ligger i undre intervallet av jämförda energigräs dras slutsatsen att foderlost inte är ett alternativ om rörflen är möjligt. I sortförsök brukar foderlost ge ungefär 90 % av rörflens avkastning (Troedson, 1995). Denna siffra har använts för att beräkna foderlostas avkastning.

Medelhögt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.5.2 Timotej

Timotej är tålig och kan odlas i hela landet på alla jordarter utom torr sandjord. Gräset anläggs med fördel i skyddssäd på våren och kan ha uthållighet på ca 4-5 år innan produktionen avtagit för mycket.

Högt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.5.3 Engelskt rajgräs

Engelskt rajgräs är ett högavkastande och energirikt gräs. Rajgräset ger ofta 3-4 skördar per år, men bör läggas om ganska snabbt. Det finns många olika sorter, som lämpar sig för olika typer av marker. Engelskt rajgräs har dessutom hög smaklighet (Jordbruksverket, 2004).

Högt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.5.4 Ängssvingel

Ängssvingel utvecklas tidigt på sommaren och bör därför skördas tidigt för att behålla näringen. Ett lättbearbetat gräs med relativt god återväxt.

Högt metanutbyte + hög avkastning -> Lämplig som biogasgröda

4.5.5 Rajsvingel

Rajsvingel är en korsning mellan italienskt rajgräs och ängssvingel. I Sverige finns sorten Felopa sedan något år tillbaka. Det finns inte så långa svenska fältförsök på rajsvingel, men mycket tyder på att den ger stor avkastning. Detta eftersom den är framkorsad av högavkastande sorter. Eftersom dessa sorter även ger gott metanutbyte kommer troligtvis gräset ha mycket god funktion som biogasgröda. Tyvärr saknas uppgifter om metanutbyten för Rajsvingel.

Okänt biogasutbyte + mycket god avkastning -> Troligtvis lämplig som biogasgröda

4.6 Energigräs ej lämpliga för biogasproduktion

Tre gräs som framförallt odlas i utlandet undersöktes också. De har tidigare visat sig intressanta för energiproduktion genom förbränning. Utvärderingen visar dock att de inte kan odlas med samma tekniker som vallgräs vilket var en av förutsättningarna (Jordbruksverket, 2004). Därför är de heller inte intressanta i detta projekt, trots att den beräknade biogaspotentialen i vissa fall kom upp i rimliga nivåer.

4.6.1 Switchgrass

Switchgrass är från början ett amerikanskt högväxande präriegräs. På senare tid har det blivit aktuellt som energigräs, framförallt för förbränning och etanolproduktion på grund av dess höga cellulosa innehåll. Switchgrass kan odlas och skördas med konventionella metoder, men grödan ger inte full skörd förrän efter 3 år.

Medelhögt metanutbyte men svårödlad tillsammans med vall -> Olämplig som biogasgröda

4.6.2 Elefantgräs

Elefantgräs är ett extremt högväxande flerårigt gräs, som kan bli 2-4,5 meter. Gräset härstammar från Afrika, där det bland annat är favoritföda för elefanter, därav namnet. Elefantgräs används idag som både fodergröda och energigröda, men då mest för förbränning. Flera olika arter, med olika hårdighet, går under samma namn. Miscanthus odlas idag i Sverige. Pennisetum purpureum är mer

osäkert. Dessutom är det svårt att samodla elefantgräs med vallgrödor då elefantgräs har lång etableringstid (Somerville et. al., 2010).

Högt metanutbyte men svårodlad tillsammans med vall -> Olämplig som biogasgröda

4.6.3 Bermudagräs

Bermudagräs är ett vanligt gräs utomlands, mycket på grund av dess invasiva natur, det vill säga att det har lätt att sprida sig till nya miljöer. Gräset blir mellan 2 och 30 cm högt, och sprids med rhizomer (underjordiska rötter), överlöpare (överjordiska rötter) och frön. Kan vara olämplig på grund av spridningsrisk då invasiva utländska arter kan förändra nuvarande ekosystem. Dessutom har bermudagräs lång etableringstid, vilket gör grödan olämplig i samma produktionssystem som vallgräs (Åström, 2011).

Högt metanutbyte men svårodlad tillsammans med vall -> Olämplig som biogasgröda

4.7 Vallblandningar

Ofta används fröblandningar med flera sorters gräs för att öka hårdigheten och minska tovbildningen. En sådan blandning innehåller oftast även någon form av fångstgröda, såsom vit- eller rödklöver. Denna rapport har dock inte närmare undersökt klövern inverkan på biogasprocessen. Dock ger klöver ett sämre metanutbyte än gräs, vilket innebär att andelen klöver ska vara så låg som möjligt utan att avkastningen börjar sjunka (Jordbruksverket, 2004).

4.8 Ensilering av energigräs

För att kunna hålla en kontinuerlig biogasprocess med rätt proportioner mellan substraten krävs tillgång på energigräs året om. Detta uppnås genom att ensilera gräset, och därigenom öka lagringsbeständigheten. Flera forskare har undersökt hur metanutbytet påverkas av ensilering. Resultaten är dock inte samstämmiga, utan visar att biogasproduktionen både kan bli större och mindre genom ensileringen. Forskning har visat att biogasutbytet efter ensilering sjunker om man inte tillfört några ensileringstillsatser, men ökar om man använder tillsatser. Dessa tillsatser består av exempelvis mjölksyrebakteriekultur som snabbar på processen. Ökningen är dock inte så stor i fallet energigräs, jämfört med exempelvis betblast där man ibland kan få en fördubbling av metanutbytet (Lehtomäki, 2006).

5 Scenario A – Gårdsbaserad biogasproduktion

I scenario A sker rötningen vid gården och gasen används för kraftvärme. Kraftvärmeproduktion innebär att biogasen förbränns för att generera elektricitet och värme. Gårdens egna värme- och elbehov kan då tillgodoses och eventuellt elöverskott kan säljas ut på nätet. Överskottsvärmen kan dock vara svår att sälja då lantbruk ofta inte ligger i närheten av något fjärrvärmenät. Kraftvärmeproduktion är i dagsläget den vanligaste avsättningen för gårdsproducerad biogas.

5.1 Modellgård

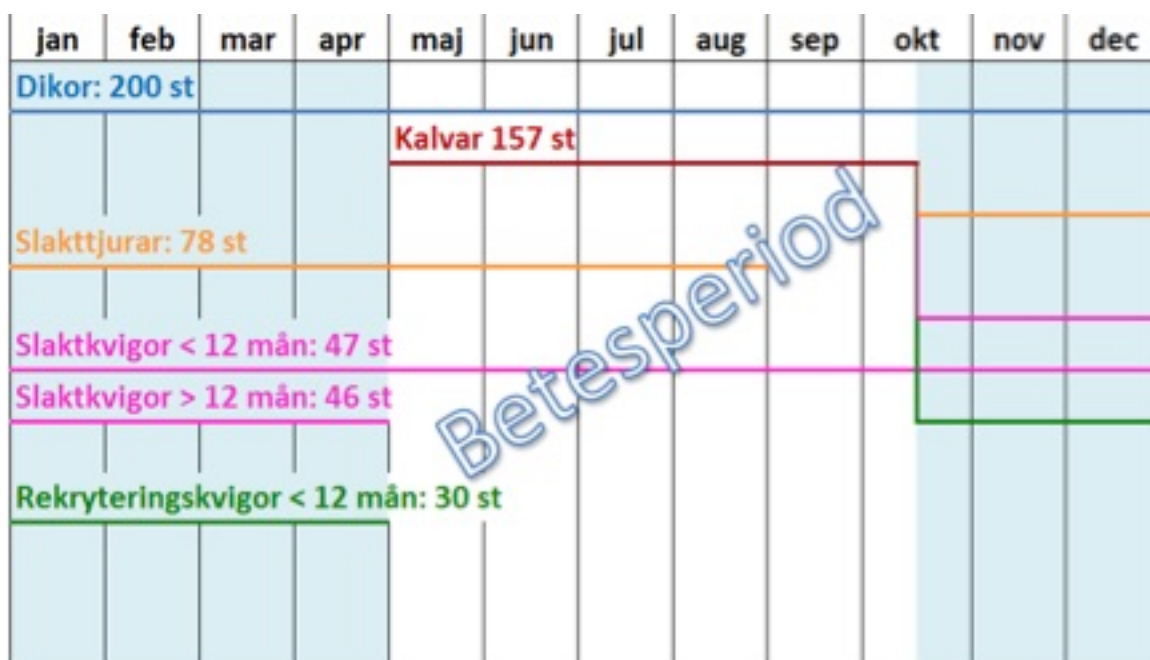
Underlaget till modellgården bygger till viss del på en referensgård placerad i Svealands slättbygder. En del indata har emellertid justerats för att få en mer generell modellgård utifrån referensgårdens förutsättningar. Syftet med modellgården är att den ska ge en bild av hur dikalvsproduktion kan bedrivas i Svealands slättbygder.

Gården driver ekologisk dikalvsproduktion med slutuppfödning. Djurantalet uppgår som mest till 558 djur och det inträffar under våren när korna och kvigorna kalvat in. Djurfördelningen är framtagen med hjälp av Excelprogrammet "Herddynamics" utgående från 200 dikor. Hur djuren fördelar sig framgår av tabell 4.

Tabell 4. Djurfördelningen på modellgården.

Typ	Antal
Dikor	200
Slakttjurar	78
Slaktkvigor < 12 mån	47
Slaktkvigor > 12 mån	46
Rekryteringskvigor < 12 mån	30
Kalvar	157
Totalt	558

Tjurkalvarna vistas inomhus sedan de avskiljts från kon och slaktas efter 16 månader. Kvikalvarna föds upp och slaktas vid 24 månaders ålder. Varje år beräknas emellertid 30 kvigor behövas för att ersätta sjuka eller äldre dikor. Rekryteringskvigorna ersätter då en diko vid 12 månaders ålder. Hur djurbeståndet fördelas under året visas i figur 3.



Figur 3. Fördelning av djurbeståndet under årets månader. Under betesperioden är endast slakttjurarna stallade.

Betesperioden sträcker sig från 1 maj till 15 oktober. Det kan ske stödutfodring under de sista månaderna beroende på tillgången på bete. Under vinterhalvåret är djuren stallade i byggnader med flytgödsel- respektive djupströbädd. Kvigor och tjurar producerar enbart flytgödsel. Dikornas produktion av gödsel fördelar sig på 2/3 flytgödsel och 1/3 djupströgödsel. Djupströ används vid kalvning och i särskilda utrymmen där kalvarna kan vistas. I tabell 5 redovisas fördelning av gödselproduktionen. Flytgödsel lagras i behållare som saknar tak och dess volym uppgår till 2 000 m³. Djupströgödsel lagras på platta utan tak.

Tabell 5. Årlig produktion av gödsel.

Gödseltyp	Produktion (ton/år)
Flytgödsel	1800
Djupströ	250

Odlad areal uppgår till 280 ha varav 180 ha används till grovfoderproduktion och resterande del enbart till bete. Därutöver finns 75 ha naturbetesmark. Växtföljden består av treårig vall följt av insådd vall i havre/ärter. Vallen ensileras två gånger per år och arealen med havre/ärter skördas som helsäd. All lagring av ensilage sker i plansilo. Tillgången till halm är begränsad och all halm används uteslutande till strö.

Modellgården har möjlighet att arrendera 53 ha i närområdet och denna mark lämpar sig enbart för vallproduktion. Det ger gården möjligheter att producera mer ensilage än vad djurhållningen förbrukar, vilket ger förutsättningar till att tillföra en del ensilage till en biogasanläggning. På arrenderad mark odlas med fördel gräsblandningar som i första hand ger högt gasutbyte per ha.

Gårdens totala elförbrukning uppgår till 50 000 kWh varav 20 000 kWh härrör från djurhållningen. Bostad värms upp med ved och har el för spetsvärme. Personalrummet har endast direktverkande el för uppvärmning och antas kräva 5 000 kWh el årligen.

5.2 Substratflöden

Substrattillgången i form av gödsel varierar stort under året för ett dikobaserat lantbruk. Maximal gödselproduktion inträffar på vintern då samtliga djur är stallade medan minst gödsel fås under betesperioden då en stor del går förlorad på betesmarkerna. Samtidigt vill mikroorganismerna i rötkammaren ha en jämn årlig tillförsel av substrat för att trivas som bäst. Det är alltså två egenskaper som går stick i stäv när det gäller biogasproduktion vid ett dikoföretag. I projektet har emellertid en lösning hittats för detta problem. Genom att återföra redan rötat substrat under betesperioden kan processen hållas igång även fast gödselproduktionen är låg. Det återförda rötade substratet, den så kallade rötresten kommer inte i sig att ge något betydande gasutbyte då det rötas på nytt. Däremot kommer rötresten att tillföra många viktiga spårämnen till processen vilket innebär att rötningen av vallensilage blir snabbare och effektivare jämfört med om bara vallgröda rötats sommartid. Här görs bedömningen att varje ton återförd rötrest ger 15 normalkubikmeter gas. Uppskattningen är osäker och därför har ett lågt värde valts. Det kan vara värt att påpeka att någon liknande systemlösning som föreslås i scenario A inte finns dokumenterad, vilket är anledningen till att författarna valt att göra en uppskattning av rötrestens metanutbyte. I Tabell 6 redovisas TS-halter och metanutbyte för de aktuella substraten.

Tabell 6. TS-halter och metanutbyte för gårdens substrat.

Substrat	TS-halt (%)	Metanutbyte (Nm ³ /ton TS)
Flytgödsel	9	160
Djupströgödsel	25	135
Vallensilage	30	260
Återförd rötrest	≈9	15

I tabell 6 kan utläsas att vallensilage ger det högsta gasutbytet av de substrat som uppkommer på gården. Hur mycket ensilage som kan tillföras rötkammaren begränsas bland annat av att rötkammarinnehållet måste vara pumpbart, det vill säga en TS-halt under 12 %. Ensilage saknar även viktiga spårämnen som krävs för att mikroorganismerna ska trivas i rötkammaren. Dessa spårämnen finns väl representerade i gödseln. I detta projekt har ett TS-förhållande mellan flytgödsel och vallensilage i ingående substrat satts till 50:50 (Erjeby, 2011). Liknande förhållande har använts i andra studier där gödsel och vall samrötas (Edström, et al.2008). Lika delar flytgödsel och vall ger ett högt gasutbyte, då främst från ensilaget, samt en TS-halt i rötkammaren på cirka 9 % vilket främjar god omrörning.

Utifrån hur djurbesättningen ser ut på gården har tre perioder kunnat identifieras vilka skiljer sig åt i substrattillgång. Skillnaden i substrattillgång visar sig främst i flytgödselproduktionen. Djupströgödseln har goda lagringsegenskaper och lika stor mängd kan tillföras rötkammaren per månad.

5.2.1 Substrat period 1: 15 oktober – 30 april

Under perioden 15 oktober till och med april är alla djuren stallade och flytgödselproduktionen uppnår sitt maximum på cirka 246 ton (våtvikt) per månad. Ingen rötrest återförs till rötkammaren under denna period. Däremot tillsätts lika stor TS-mängd vallensilage som flytgödseln, cirka 74 ton vv (våtvikt).

5.2.2 Substrat period 2: 1 maj – 31 augusti

I maj släpps de flesta djuren ut på bete. Kvar i stallbyggnaderna är tjurkalvarna, vilka beräknas producera 53 ton flytgödsel i månaden. För att hålla substrattillförseln någorlunda kontinuerlig återförs rötat substrat huvudrötkammaren. Den totala vikten av tillförd tjurkalvsflytgödsel samt rötrest skall motsvara den flytgödselmängd som tillfördes i period 1. Det innebär att 196 ton rötrest tillförs per månad. Vallinblandningen fortsätter att ligga på 74 ton per månad.

5.2.3 Substrat period 3: 1 september – 14 oktober

I slutet av augusti slaktas tjurkalvarna och ingen flytgödsel finns längre att tillgå från stallbyggnaderna. Ca 250 ton rötrest tillförs därför rötkammaren för att motsvara den flytgödselmängd som producerades under period 1. Fortfarande tillsätts rötkammaren 74 ton vallensilage per månad. I tabell 7 redovisas de tre periodernas substrattillgång.

Tabell 7. Variation av substrattillförsel i rötkammaren under året.

Substrat	15 okt - april	maj-aug	sept -14 okt
Flytgödsel (ton/mån)	246	53	0
Djupströ (ton/mån)	21	21	21
Ensilage (ton/mån)	74	74	74
Rötrest (ton/mån)	0	196	250
TS-halt i rötkammaren (%)	8,9	10,0	10,4

5.3 Dimensionering rötkammare

Gårdsanläggningen i Scenario A är utrustad med en huvudrötkammare och en efterrötkammare. Huvudrötkammaren är isolerad och utrustad med god omrörningskapacitet och där sker en mesofil rötning vid en temperatur på 37 grader. Dimensionering av huvudrötkammaren görs genom att använda de formler som beskrevs i avsnitt 2.1.7 där den organiska belastningen sätts till 4 kg TS/m³/dygn. I tabell 8 visas hur stor huvudrötkammaren bör vara och vilken uppehållstid som behövs för att klara den bestämda belastningen.

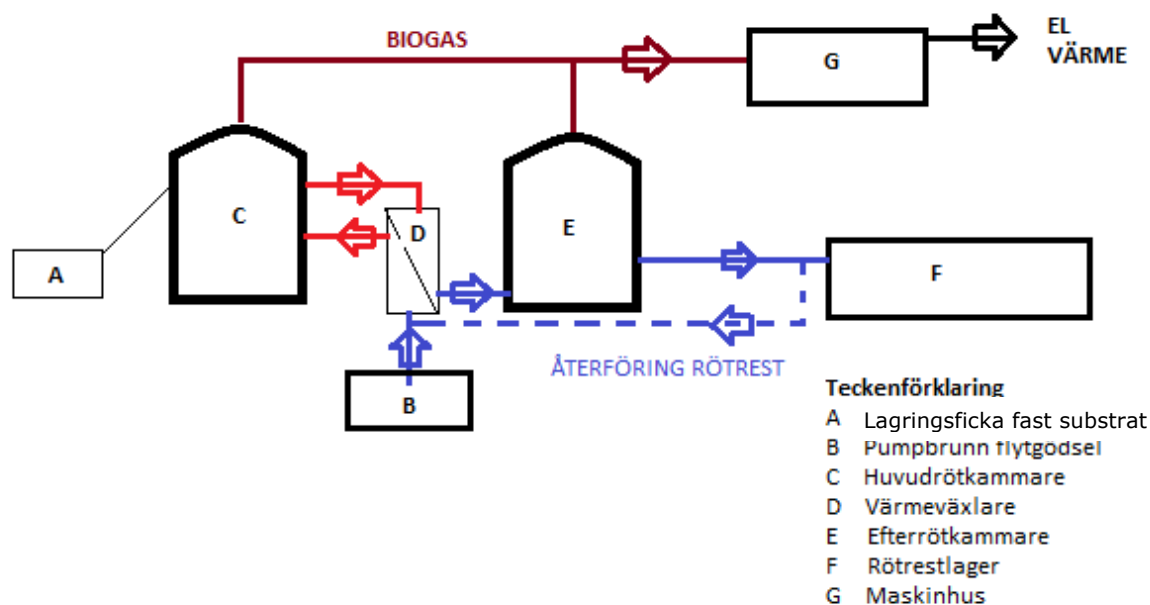
Tabell 8. Huvudrötkammare med viktiga parametrar.

Aktiv huvudrötkammarvolym [m ³]	Uppehållstid [dygn]	Organisk belastning [kg TS/m ³ /dygn]
385	29	4,0

Efter huvudrötkammaren får substratet passera efterrötkammaren där ytterligare biogas kan omhändertas. Efterrötkammaren dimensioneras på samma sätt som huvudrötkammaren och får således en aktiv volym på 385 m³ och en uppehållstid på 29 dygn. Rötkastrarnas definitiva volym beräknas enligt avsnitt 2.1.7 genom att lägga på 18 % av den aktiva volymen. I det här fallet innebär

det att den definitiva volymen blir 450 m³. Utrymmet som uppstår mellan substratet och taket fungerar som ett korttidslager av rågas.

Om substrattillgången skulle öka markant i framtiden finns det möjlighet att bygga om efterrötkammaren till en huvudrötkammare genom att isolera behållaren och anlägga kraftigare omrörningsutrustning. Denna flexibilitet i systemet medför att investeringskostnaden för en eventuell produktionsökning kan hållas relativt låg i framtiden. I figur 4 framgår hur biogassystemet är uppbyggt på gården.



Figur 4. Principskiss över biogassystemet på gården i scenario A.

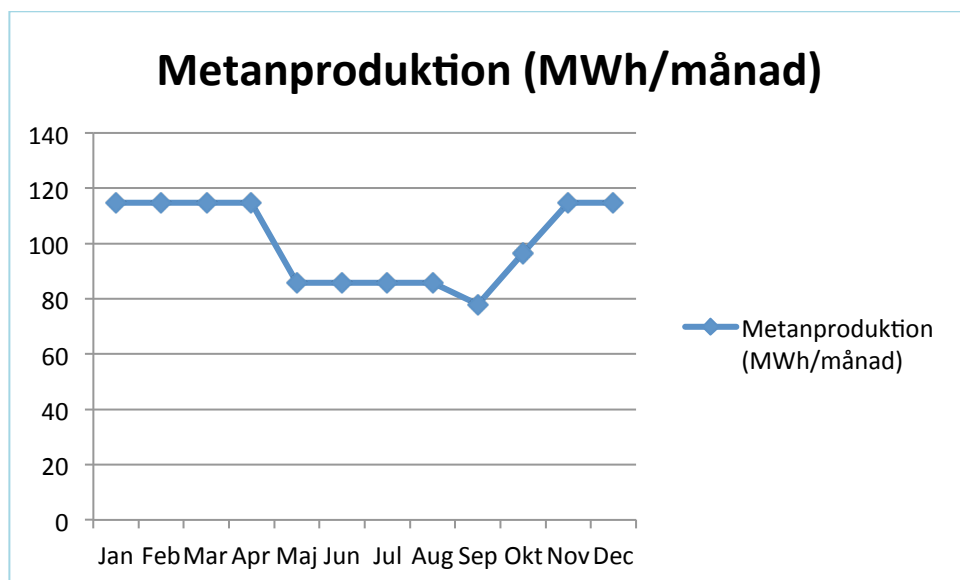
Lagringsfickan för fast substrat innehåller rivare och här sönderdelas djupströgsödseln. Även ensilaget tippas i denna fika. Det fasta substratet toppmatas till huvudrötkammaren och när detta sker är det viktigt att det förekommer extra god omrörning i kammaren för att god blandning ska erhållas. För att underlätta att god omblandning sker då fast substrat matas in kan huvudrötkammaren utrustas med en extra propelleromrörare. Denna omrörare kan till exempel placeras längs med innerväggen och vara utformad så att den går att justera i höjdläget.

Flytgödsel från djuren samlas först upp i en pumpbrunn varifrån den pumpas vidare till huvudrötkammaren. Systemet är utrustat med värmeväxlare, vilken tar värme från utgående substrat från huvudrötkammaren och överför värmen till ingående substrat. Figur 4 visar att värmeväxlingen sker mellan huvudrötkammaren och efterrötkammaren men detta är endast ett exempel på möjlig teknisk lösning. Ett annat alternativ är att integrera värmeväxlingen i efterrötkammaren.

Substratet från efterrötkammaren förs vidare till rötrestlagret där rötresten lagras i väntan på spridning alternativt återinförs till huvudrötkammaren. Producerad gas samlas upp och transporteras till maskinhuset där den förbränns och omvandlas till el och värme.

5.4 Biogasproduktion

Den största produktionen av biogas erhålls under vinterhalvåret då djuren står i stallbyggnaderna. Under betesperioden sjunker produktionen en del till följd av att mindre mängd färsk gödsel tillförs processen. Med hjälp av återinförsel av rötrest och jämn tillförsel av vall kan produktionen ändå hållas igång under sommarmånaderna, se figur 5. Den nedgång i produktionen som sker i september beror på att tjurarna för slutuppfödning lämnats till slakt i slutet av augusti. Den redovisade produktionen innefattar energiinnehållet i den gas som produceras, den så kallade rågasen. Totalt uppgår den årliga produktionen till 1,2 GWh.



Figur 5. Metanproduktionen för gårdsanläggningen i scenario A. Totalt uppgår den årliga produktionen till 1,2 GWh.

5.5 Dimensionering kraftvärme

I huvudsak finns två typer av motorer att välja på för en gårdsbaserad kraftvärmeanläggning, dieselmotorer och gasmotorer. Det som skiljer dessa åt är att en dieselmotor inte kan antända biogasen av sig självt utan ytterligare bränsle måste tillsätta för att starta förbränningen. Tändbränslet utgörs oftast av diesel, men även biodiesel och rapsolja kan användas i dieselmotorn. I en gasmotor självantänds biogasen.

Elverkningsgraden för de olika motorerna ligger i regel kring 30-40 % medan den termiska verkningsgraden oftast är 35-55 %. Dieselmotorer har bättre elverkningsgrad, men sämre termisk verkningsgrad än gasmotorer. Elverkningsgraden förbättras med ökad installerad effekt medan den termiska verkningsgraden sjunker. Nackdelen med en dieselmotor är just att det ytterligare bränsle som måste användas för att antända biogasen ökar kostnaderna och miljöbelastningen. Ifall diesel används som tändbränsle ges den mängd elektricitet som produceras av dieseln inte tillgång till elcertifikat (Lantz, 2010).

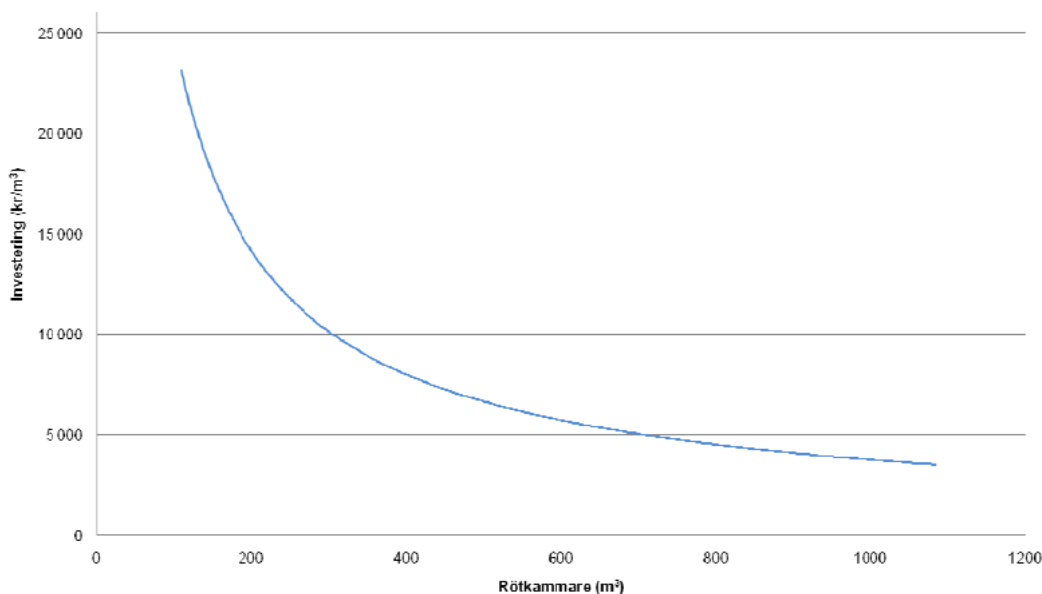
Kraftvärmeproduktion kan även ske genom förbränning i gasturbin eller i stirlingmotor. Verkningsgraden för gasturbinen är ca 30 % och för stirlingmotorn varierar den mellan 20 och 30 % när det gäller elektrisk motoreffekt kring 50 till 100 kW (Lantz, 2010).

I rapporten *Gårdsbaserad och gårdsnära produktion av kraftvärme från biogas* skriver Lantz (2010) bland annat om ett beräkningsfall som stämmer väl överens med den produktion som erhålls i scenario A. I beräkningsfallet framkommer det att gasmotorn är det mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet för en anläggning i storlek med scenario A. I samma räkneexempel anges motorns verkningsgrad för el och värme till 29 % respektive 50 %. Gasmotorn för gårdsalternativet dimensioneras till 50 kW installerad eleffekt. I projektets beräkningar kommer dessa uppgifter att användas och under känslighetsanalysen kommer en förbättrad elverkningsgrad på 35 % att undersökas.

5.6 Kostnader och intäkter

5.6.1 Anläggningskostnad

Investeringskostnaden per rötkammarvolym för en komplett biogasanläggning inkluderande markarbeten och bottenplatta till rötkammaren samt teknikbod och gaspanna illustreras i figur 6. Kostnaden inkluderar inte kraftvärmeanläggning, efterrötkammare och rötrestlager. Grafen är framtagen utifrån 20 tänkta biogasanläggningar i västra Götaland (Christensson et. al.) 2009). Kostnaden får ses som en riktlinje då den i själva verket kan variera stort beroende på platsspecifika omständigheter. Figur 6 visar att det finns en påtaglig skaleffekt gällande rötkammarens volym kopplad till investeringskostnaden. I modellgårdens fall, vars rötkammarvolym beräknas uppgå till 450 m^3 , har en kostnad kunnat utläsas ur figuren till 6 500 kr/ m^3 . En efterrötkammare antas efter egna beräkningar kosta ytterligare ca 700 000 kr. De befintliga gödselbrunnarna på gården beräknas kunna användas som rötrestlager. Investeringskostnaden för anläggningen i Scenario A uppskattas uppgå till 3 600 000 kr. Det finns möjlighet att ansöka om investeringsstöd för en biogasanläggning genom Landsbygdsprogrammet. Stödet ger rätt till 30 % av investeringskostnaden med ett maxbelopp på 1,8 miljoner. I norra Sverige kan det till och med gå att få 50 % av investeringskostnaden som stöd. I studiens beräkningar inkluderas investeringsstödet om maximalt 30 %.



Figur 6. Investeringskostnad per rötkammarvolym för en biogasanläggning inkluderandemarkarbeten och bottenplatta till rötkammaren samt teknikbod och gaspanna.

Kostnaden för kraftvärmeanläggningen med gasmotorn sätts till 650 000 kr. Efter fem år sker en omfattande renovering av motorn vilket antas kosta 200 000 kr (Lantz, 2010). Livslängden är ca 10 år för kraftvärmeanläggningen om årligt antal fullasttimmar uppgår till 8000 h. När tio år passerat görs en investering i ett nytt kraftvärmepaket för 650 000 kr. Utöver den omfattande renoveringen efter fem år sker det årligt underhåll av motorn med kringutrustning.

Processenergin för pumpar, omrörning och annan kringutrustning sätts till 5 kWh per ton substrat (Lantz, 2010). För gårdsbiogasanläggningen innebär det en förbrukning på ca 12,5 MWh processel per år. I projektet har en driftkostnad på 200 000 kr årligen antagits. Driftkostnaden inbegriper försäkringsavgifter, elektricitet till pumpar och dylikt samt en arbetsinsats på 1 timme per dygn à 250 kr/h (Lantz, 2010). Uppvärmningsbehovet för rötkammaren sätts till att motsvara 20 % av energiinnehållet i den producerade gasen. I tabell 9 ges en översikt över anläggningens investeringskostnad och rörliga kostnader.

Tabell 9. Uppskattade anläggningskostnader och löpande kostnader för modellgården.

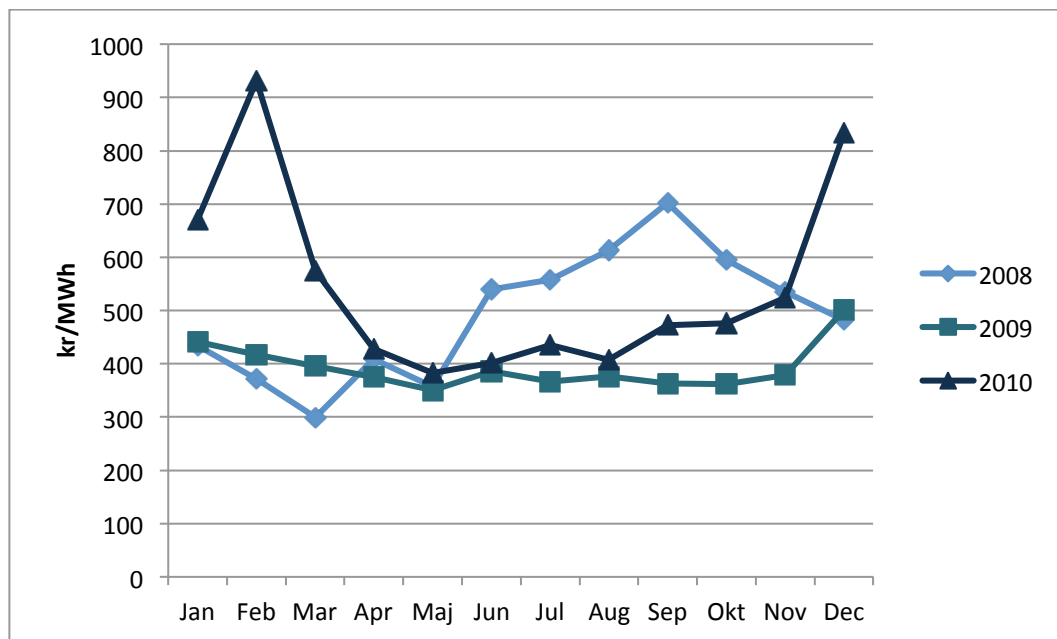
Anläggningskostnad				
Biogassystem	6 500 kr/m ³	à	450 m ³	2 925 000 kr
Efterrötkammare				700 000 kr
Kraftvärmepaket				650 000 kr
Bidrag				-1 282 500 kr
Totalt				2 992 500 kr

Löpande kostnader		
Årlig drift*	200 000	kr
Renovering motor (vart femte år)	200 000	kr
Nytt kraftvärmepaket (efter 10 år)	650 000	kr

*Inbegriper försäkringsavgifter, elektricitet till pumpar och dylikt samt en arbetsinsats på 1 timme per dygn à 250 kr/h.

5.6.2 Avsättning el

Det finns flera sätt att generera intäkter från elproduktion. Det första som slår en är kanske till vilket pris elen kan säljas, men intäkter från elcertifikat samt ersättning från nätägarna och minskade nätavgifter måste även tas med i beräkningarna. Priset på varje försåld MWh el varierar under året och de tre senaste årens elpriser, så kallade spotpriser redovisas i figur 7.



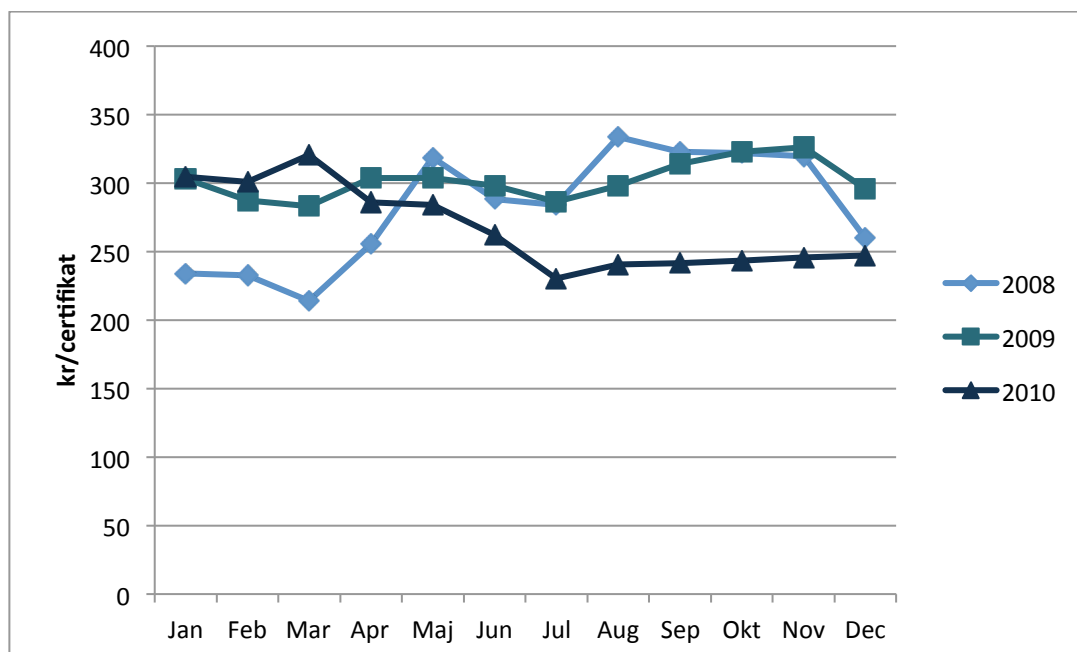
Figur 7. Variation av elpriset för år 2008 till och med år 2010.

Källa: Nordpool (2011)

I de kommande beräkningarna har ett elpris satts till 480 kr/MWh vilket är ett medelvärde på de tre senaste årens spotpris. Elpriset beräknas stiga med 4 % årligen (Björnsson & Lantz, 2011).

Den genererade elen kan användas internt för att täcka gårdens egen elanvändning eller säljas ut på elnätet. Den el som används på gården minskar kostnader för inköpt el samt kostnader för så kallade nätavgifter. Nätavgiften varierar över landet men sätts här till 100 kr/MWh. På elpriset läggs även nätföretagens kostnader för elcertifikat. El som avsätts på gården beräknas ha ett värde på 520 kr/MWh. För den el som säljs ut på nätet ges en ersättning från nätägaren i och med att dennes energiförluster samt avgifter till regionnätet minskas, så kallad nätnytta. Ersättning har antagits uppgå till 50 kr/MWh (Björnsson & Lantz, 2011).

År 2003 infördes lagen om elcertifikat för att främja produktionen av förnyelsebar energi. För varje genererad MWh förnyelsebar elenergi tillhandahålls producenten ett elcertifikat av staten. Elcertifikaten säljs sedan vidare till de så kallade kvotpliktiga, i regel kraftbolagen samt vissa andra företag som är obligerade till att inköpa ett visst antal certifikat. Kraftbolagens kostnader för elcertifikat läggs i slutändan på elkonsumenten. En ny anläggning har rätt till elcertifikat de första 15 åren av produktion. I figur 8 visas prisutvecklingen på elcertifikat under de senaste tre åren.



Figur 8. Prisutvecklingen av elcertifikat från år 2008 till och med år 2010.

Källa: Svenska Kraftnät (2011)

Utifrån ett medelpris för sålda elcertifikat de senaste tre åren har i de kommande beräkningarna ett pris satts till 280 kr.

Sammantaget ger den el som används internt på gården en intäkt av $520 + 100 + 280 = 900$ kr/MWh. Den el som säljs ut på elnätet beräknas ge $480 + 50 + 280 = 810$ kr/MWh. Tabell 10 visar intäkterna från biogasanläggningens elproduktion.

Tabell 10. Intäkter från elproduktion.

Intäkter	Mängd/frekvens	à pris	Totalt
Intern elanvändning	45 MWh	900 kr/MWh	40 500 kr
Försold el	305 MWh	810 kr/MWh	247 050 kr

5.6.3 Avsättning värme

I nuläget värms gården genom vedeldning samt med elenergi som spetsvärme. Vedeldningen antas inte vara lönsam att ersätta med värme från kraftvärmemotorn då gården har egen tillgång till ved. Däremot beräknas 5 MWh direktverkande eluppvärmning till personalrummet kunna ersättas årligen. Även biogasprocessen kräver uppvärmning och behovet har antagits uppgå till 240 MWh, vilket motsvarar 20 % av rågasens energiinnehåll. Den värme som blir över när biogasprocessen samt den ersatta elvärmen tillgodosetts beräknas inte ge någon avkastning. I känslighetsanalysen har dock lönsamheten undersökts ifall en avkastning på 180 kr/MWh skulle ges för denna värme vilken beräknas uppgå till 478 MWh (Björnsson& Lantz, 2011). I tabell 11 redovisas intäkterna från biogasanläggningens värmeproduktion.

Tabell 11. Intäkter från värmeproduktion.

Intäkter	Mängd/frekvens	à pris	Totalt
Intern värmeanvändning	5 MWh	900 kr/MWh	4 500 kr
Försäljningsbar värme*	478 MWh	0 kr/MWh	0kr

*Beräknas kunna säljas till 180 kr/MWh i känslighetsanalysen.

5.6.4 Mervärde rötrest

Under röttningsprocessen sker en mineralisering av det organiskt bundna kvävet. Med andra ord blir kvävet mer lättillgängligt för grödorna. Här beräknas mineraliseringen uppgå till 7 % av ingående ammoniumkvävemängd (Edström et. al., 2008). I tabell 12 redovisas massflödet av kväve, fosfor och kalium. Det framgår från tabellen att mineraliseringen ger ett bidrag av 260 kg ammoniumkväve. Innan biogassystemet infördes på gården i Scenario A skedde näringsåterföring genom att sprida flyt- och djupströgsel. Med införandet av biogassystemet kommer vall att rötas och därmed kommer vallens näringsämnen (exklusive det kol, väte, svavel med flera som bildar gaser) att tillföras rötresten. Det extra tillskottet av totalkväve från vall är 4,5 ton per år varav mängden ammoniumkväve är 280 kg. Det innebär att biogassystemet totalt bidrar med 540 kg ammoniumkväve. Tillskottet av fosfor och kalium från vallen är 1 010 kg respektive 820 kg.

Tabell 12. Flöden av näringsämnena kväve, fosfor och kalium då ett biogassystem införs i scenario A. Under röttningsprocessen sker det mineralisering av kvävet som därmed får en förhöjd halt av det för växterna lättillgängliga ammoniumkvävet.

	Massflöde		Differens	Innehåll rötrest
	In	Ut		
Enhet	ton/år	ton/år	ton/år	kg/ton
N _{tot}	12,4	12,4		5,0
varav N-NH ₄	3,7	3,9	0,26	1,6
P	3,0	3,0		1,2
K	16,6	16,6		6,8

Det är svårt att bedöma rötrestens eller biogödselns ekonomiska värde då det är de lokala förutsättningarna som styr avsättningsmöjligheterna. Rötresten innehåller mycket vatten och tål inte transporteras längre avstånd ur ett ekonomiskt perspektiv. Det gäller således att det finns lantbruk i närområdet som har ett behov av den del av biogödseln som inte används internt på gården.

Det behöver nödvändigtvis inte vara aktuellt att avsätta delar av biogödseln utanför gårdens gränser. Ett alternativ skulle kunna vara att öka gödselgivan till gårdens odlade areal. Med mer växttillgängligt kväve och med spridning vid rätt tidpunkter finns det möjlighet att öka grödavkastningen ytterligare.

Studiens beräkningar utgår ifrån att all rötrest avsätts på gården och att därmed ingen försäljning sker. I kommande beräkningar sätts **värdet för rötresten till 0 kr**. I de ekonomiska beräkningarna kommer emellertid ett positivt mervärde på 5 kr/ton vv för rötresten att undersökas för att se vilket utslag det får på kalkylen.

5.6.5 Vallhantering

Litteraturstudier visar att vallkostnaden är en signifikant parameter i lönsamhetsberäkningar för biogasanläggningar som bland annat använder vall som rötningssubstrat. Enligt Björnsson och Lantz (2010) är kostnaden för klövervall 84 öre/kg TS. Detta avser odling i ett område med hög djurtäthet och på mark med god arrondering. Edström et al. (2008) anger vallkostnaden till 100 öre/kg TS men det framgår inte under vilka förutsättningar denna kostnad gäller. I rapporten *Biogas från gödsel och vall* (Björnsson & Lantz, 2011) jämförs vallkostnaden med vetepriiset. Kostnaden för odling av vall utgår i den rapporten från kalkyler i Agriwise och gäller för vall i Svealands skogsbygder och i Norrland. Efter tillägg för transport till biogasanläggningen (beräkningen avser samröttningsanläggning) samt exkluderande av värdering av stallgödsel, uppskattas kostnaden till 135 öre/kg TS. Samma rapport anger att om vetepriiset är 160 öre/kg får vallkostnaden vara maximalt 110 öre/kg TS. Är vallkostnaden dyrare än så är det mer lönsamt att använda vetekärna som rötningssubstrat. Det kan vara värt att påpeka att den jämförelse som görs mellan spannmål och vall i rapporten *Biogas från gödsel och vall* avser konventionell odling.

I rapporten *Produktionskostnad för grovfoder till köttdjur* (Kumm, 2009) redovisas en rad olika produktionskostnader för vall som beror på produktionsområde, skördenivå, arrondering, skördemetod med flera. Om alternativkostnaden för marken i fråga värderas till noll kronor blir kostnaden för vall 126 öre/kg TS för Götalands skogsbygder. Detta gäller för vall som gödslas med 100 kg N och där det tas två skördar per år. Skördemetoden är bogserad fälthack och lagring i plansilo.

Det visade sig tidigt i denna studie att vallkostnaden var den mest betydelsefulla parametern i lönsamhetsberäkningarna för scenario A och B. Därmed var det av stort intresse att kartlägga vad denna kostnadspost bestod av. Litteraturuppgifterna ovan visar att kostnaden ligger mellan 100- 135 öre/kg TS. Det är emellertid svårt att jämföra dessa uppgifter med varandra då de framtagits för olika områden och med olika antaganden.

Bruttokostnad

Efter litteraturgenomgång visar det sig att rapporten *Produktionskostnad för grovfoder till köttdjur* (Kumm, 2009) stämmer bäst överens med de förutsättningar som gäller för gården i scenario A respektive B. I den rapporten antas lagring av vall ske i plansilo och lagringskostnaden uppgår till 26 öre/kg TS. I föreliggande studie antas det emellertid vara tillräckligt att lagra vallensilaget direkt på marken i så kallad stuka. Den plast som används för täckning av plansilo kostar enligt Kumm (2009) 3 öre/kg TS och här antas att täckning av stuka har samma kostnad.

I Kumms rapport värderas stallgödseln genom att redovisa motsvarande kostnad för mineralgödsel (NPK) och det finns kostnadsberäkningar utifrån tre olika givor (0, 100 och 200 kg N). Här antas värdet av näringsinnehållet i stallgödseln till noll kronor vilket är analogt med den värdering som görs av biogödseln i avsnitt 6.6.4. Spridningskostnaden för biogödsel uppskattas till motsvarande 6 öre/kg TS vallgröda. Schablonkostnader för spridning av flytgödsel är hämtade från Greppa Näringsens informationsblad *Din stallgödsel är värdefull* (2004).

Bruttokostnaden för vall i föreliggande studie bestäms till 74 öre/kg TS, se tabell 13. Med bruttokostnad menas här den kostnad som uppstår genom insådd, gödsling, skörd, lagring samt ränta på rörelsekapital. Det extra arealbehov (53 ha) som uppstår genom att biogassystemet uppförs

tillgodoses genom att arrendera mark. I det område modellgården ligger i antas gårdsstödet ligga på samma nivå som arrendepiset. I studiens kalkyler tas varken arrendepis eller gårdsstöd med för biogasvallen.

Tabell 13. Tabellen visar beräknad bruttokostnad för vall i Svealands slättbygder. Beräkningen utgår ifrån rapporten Produktionskostnad för grovfoder till köttdjur (Kumm, 2009). Genom att vallen ska användas för biogasproduktion kan lagringskostnaderna minskas betydligt. Vidare antas värderingen av näringsinnehållet i stallgödseln till noll kronor.

Kostnad	öre/kg TS
Insådd	9
Spridning gödsel	6
Skörd	49
Plast och ensileringsmedel	8
Ränta	2
Bruttokostnad	74

Miljö- och kompensationsbidrag

Det finns en del bidrag kopplade till vallodling. Grundbidraget för vallodling är 300 kr/ha och det gäller för vall som ligger obruten minst tre vintrar i följd. Vidare finns det möjlighet att erhålla tilläggsbidrag för vallodling, 900 kr/ha förutsatt att det finns rätt djurtäthet i företaget. Storleken på tilläggsbidraget varierar beroende på i vilket stödområde arealen finns. Modellgården kan få tilläggsbeloppet för viss del av den utökade arealen.

Kompensationsbidraget som finns att tillgå för företag med nötkreatur och får, har till syfte att kompensera för att markens produktionsförmåga varierar i landet. För stödområde 4b ges 1 100 kr/ha för arealer omfattande 0-90 ha. Om gårdens areal överstiger 90 ha utgår bidraget för resterande areal till 550 kr/ha. Stödet är likt vallstödet, kopplat till djurtätheten (1,1 djurenheter/ha). Till skillnad från tilläggsbidraget för vall gäller kompensationsbidraget även naturbetesmark. Det medför att modellgården uppnår maximal stödberättigad areal för kompensationsbidraget redan innan biogasvallen tillförs systemet. Därmed utgår inget kompensationsbidrag för biogasvallen.

Ekologisk djurhållning och foderproduktion kan generera ytterligare ersättning, även den kopplad till djurtätheten. Modellföretaget får på grund av sin höga djurtäthet ett högre ekologiskt stöd när biogasarealen kopplas till företaget.

Med vall för biogasproduktion kommer gårdens vallareal att öka med 53 ha. De bidrag som därmed utfaller till följd av denna odling uppgår till 900 kr/ha. Med nettoavkastning på 5 ton TS/ha motsvarar det **18 öre/kg TS**. En begränsande faktor för att erhålla tilläggsbidraget för vall är att djurtätheten måste vara 1,1 djurenheter/ha. Med modellgårdens djurantal innebär det att 290 ha ger rätt till tilläggsbidrag. Utan biogasvall uppgår vall- och helsädesarealen till 280 ha, vilket innebär att endast 10 ha av den tillkomna vallarealen för biogasändamål ger rätt till tilläggsersättning.

Energimyndigheten har i rapporten *Förslag till en sektorsövergripande biogasstrategi* lämnat ett förslag om att det ska införas ett tilläggsbidrag riktat till vallodling för biogasproduktion. Förslaget lyder: "Utredningen föreslår att det skall vara möjligt att erhålla ersättning även till vallodling för biogasproduktion på samma sätt som för djurfoder". Om förslaget går igenom innebär det att

djurantalet inte styr huruvida tilläggsbidraget ska utgå eller inte då vallen används i en biogasprocess. I föreliggande studie kommer effekten av ovanstående förslag att behandlas i känslighetsanalysen. Då ytterligare 43 ha kommer att omfattas av tilläggsersättningen innebär det att den totala bidragsdelen blir **32 öre/kg TS**.

Nettokostnad

Då bidragen som är kopplade till vallodling räknas bort från bruttokostnaden erhålls vallhanterings nettokostnad, se tabell 14. För basfallet blir kostnaden 56 öre/kg TS. Om det föreslagna tilläggsbidraget för biogasvall blir verklighet innebär det att vallkostnaden sjunker till 42 öre/kg TS.

Tabell 14. Nettokostnaden för vallhantering för studiens modellgård.

	Basfall	Känslighetsanalys
<i>Enhet</i>	<i>öre/kg TS</i>	<i>öre/kg TS</i>
Bruttokostnad	74	74
Bidrag	18	32
Nettokostnad	56	42

5.6.6 Investeringsstöd och produktionsstöd

Energimyndigheten har lagt fram ett förslag på ett produktionsstöd som innebär att varje producerad kWh rågas ger rätt till 20 öre i ersättning. Detta förslag har varit ute på remiss och är fortfarande under behandling.

5.6.7 Sammanfattning kostnader och intäkter

I tabell 15 redovisas en översikt för biogasanläggningens kostnader och intäkter. Dessa parametrar har sedan använts i de ekonomiska beräkningarna i avsnitt 6.7 för att fastställa lönsamheten för det så kallade basfallet.

Tabell 15. Sammanfattning av biogasanläggningens kostnader respektive intäkter.

Anläggningskostnad					
Biogassystem	3 625 000	kr			
Kraftvärmepaket	650 000	kr			
Bidrag	-1 282 500	kr			
Totalt	2 992 500	kr			

Löpande kostnader					
Årlig drift	200 000	kr			
Renovering motor (vart femte år)	200 000	kr			
Nytt kraftvärmepaket (efter 10 år)	650 000	kr			
Vallhantering	56	öre/kg TS			

Intäkter	Mängd/frekvens		à pris		Totalt
Intern elanvändning	45	MWh	900	kr/MWh	40 500 kr
Försåld el	305	MWh	810	kr/MWh	247 050 kr
Intern värmeanvändning	5	MWh	900	kr/MWh	4 500 kr
Försäljningsbar värme	478	MWh	0	kr/MWh	0 kr
Rötrest	2 462	ton vv	0	kr/ton vv	0 kr
Produktionsbidrag	1 207	MWh CH ₄	0	kr/MWh	0 kr

5.7 Ekonomiska beräkningar

Ekonomiska beräkningar har gjorts med hjälp av en LCC-kalkyl (Life Cycle Cost) där nuvärdeskostnader/intäkter för biogasinvesteringen beräknats. Nuvärde är det värde en framtida betalningsström skulle ha ifall alla kostnader och intäkter inföll idag. I de ekonomiska beräkningarna har följande antaganden gjorts:

- Kalkylperioden har valts till 20 år.
- Inflationen har satts till 2 %.
- Kostnader för el beräknas stiga med 4 % årligen.
- Kalkylräntan har satts till 6 %.

De ekonomiska beräkningarna redovisas både för anläggningen i sin helhet samt för biogassystemet nuvärdeskostnad per diko och år. I det så kallade basfallet har kostnader och intäkter från tabell 15 använts. Ekonomiska beräkningar har utförts på ytterligare tio fall, där vissa bestämda parametrar har varierats från basfallet. De tio fallen presenteras i tabell 16.

Tabell 16. Sammanfattning över de fall som ekonomiska beräkningar utförts på.

Fallnamn	Beskrivning
1. Basfall	Kostnader och intäkter enligt tabell 15.
2. Produktionsstöd	Produktionsstödet på 200 kr/MWh producerad metangas införs.
3. Värme	Överskottsvärmen försäljs för 180 kr/MWh.
4. Energigrödor	Metanutbytet för energigrödorna ökar från 260 m ³ /ton TS till 300 m ³ /ton TS.
5. Substrat	Fall 4 med tillägg att även metanutbytet från gödseln ökar.
6. Motor	Motorns elverkningsgrad stiger från 29 % till 35 %.
7. Elpris	Elpriset genomgår en kraftigare prisökning på 6 % per år istället för 4 %.
8. Rötrest	Rötresten antas ha ett värde på 5 kr/ton våtvikt.
9. Flytgödsel	Tillgången på flytgödsel hålls maximal och kontinuerlig över hela året.
10. Vallhantering	Kostnaden för vallhantering minskar från 56 öre/kg TS till 42 öre/kg TS.
11. Bästa scenario	Kombination av fall 1-10.

5.7.1 Basfall

I basfallet används de siffror för intäkter och utgifter redovisade i tabell 15.

Total nuvärdeskostnad för basfallet under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 4 143 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 207 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 1 036 kr.

5.7.2 Produktionsstöd

Här undersöks vilken effekt det eventuella produktionsstödet beskrivet närmare i avsnitt 5.6.6 skulle få på lönsamheten. Resultatet visar att produktionsstödet har stor påverkan på anläggningens lönsamhet, men inte räcker till för att göra basfallsinvesteringen lönsam.

Total nuvärdeskostnad för fall 2 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 893 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 42 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 210 kr.

5.7.3 Avsättning värme

I basfallet antas ingen försäljning ske av den värme som blir över då biogasprocessens och personalrummets behov tillgodosetts. I detta avsnitt undersökts dock vilken påverkan en intäkt från värmen skulle ha på biogasanläggningens lönsamhet. I rapporten *Biogas från gödsel och vall* (Björnsson & Lantz, 2011) har ett tänkbart försäljningspris av värme satts till 180 kr/MWh, vilket använts även i denna rapport.

Möjligheten att sälja överskottsvärme beror till stor del på var gården är belägen. Om biogasanläggningen ligger nära ett samhälle skulle det kunna vara möjligt att dra kulvertar till exempelvis den lokala skolan eller bostadshus och därigenom förse byggnaderna med värme. Värmebehovet varierar dock stort under året och det kan vara svårt att bli av med värmen sommartid medan kalla vintrar kan kräva en backup i form av en biobränslepanna. En backup måste även finnas tillgänglig vid eventuella driftsstopp och reparationer. Ett annat användningsområde skulle vara att upprätta växthusodling och värma dessa med biogasvärmen. Ingen kalkyl har dock utförts på detta alternativ.

Total nuvärdeskostnad för fall 3 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 2 966 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 148 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 741 kr.

För att biogasanläggningen efter 20 år ska nå ett nollresultat i nuvärdeskostnad skulle värmen i basfallet behöva säljas till ett nuvärde av ca 630kr/MWh.

5.7.4 Metanutbyte från energigrödor

I avsnittet 4 om energigräs har högre metanutbyten beräknas fram för energigräs än det som användes i basfallet. Det är alltså fullt möjligt att få en bättre biogasproduktion från energigrödorna. Istället för metanutbytet i basfallet på 260 m³/ton TS energigröda används här ett metanutbyte på 300 m³/ton TS. Notera att ett bättre metanutbyte påverkar elförsäljningsposten då mer elektricitet kan alstras i kraftvärmesystemet.

Total nuvärdeskostnad för fall 4 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 709 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 185 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 927 kr.

5.7.5 Metanutbyte från energigrödor samt fast- och flytgödsel

I biogassammanhang kan man höra talas om så kallade synergieffekter, det vill säga att olika substrat tillsammans ger ett högre biogasutbyte än vad de skulle presterat var och en för sig. Gödsel och vall är exempel på två substrat vars kombinerade rötning kan ge upphov till dessa synergieffekter.

Mikroorganismer i endast vall kan få brist på viktiga spårämnen, medan enbart gödsel har relativt lågt kolinnehåll vilket kan vara hämnande för mikroberna. Detta avsnitt har behållit det högre metanutbytet för energigräs från avsnitt 5.7.4 på 300 m³/ton och samtidigt ökat metanutbytet från både flyt- och djupströgödseln. Metanutbytet för flytgödseln har ökat från 160 m³/ton till 200 m³/ton och metanutbytet från fastgödsel har ökat från 135 m³/ton till 160 m³/ton.

Total nuvärdeskostnad för fall 5 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 376 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 169 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 844 kr.

5.7.6 Elverkningsgrad

En elverkningsgrad för gasmotorn på 29 % har antagits i basfallet. I detta fall har elverkningsgraden ökat till 35 %. Spannet för elverkningsgrader för motorer med installerad effekt på 50 kW kan variera och en verkningsgrad uppemot 35 % är inte omöjlig med en rätt dimensionerad och ny motor (Lantz, 2010). En högre elverkningsgrad genererar mer elektricitet vilket ökar intäkterna från elförsäljningen.

Total nuvärdeskostnad för fall 6 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 248 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 162 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 812 kr.

5.7.7 Elpris

I basfallet antas elpriset öka årligen med 4 %. I detta avsnitt har elprisökningen satts till 6 %.

Total nuvärdeskostnad för fall 7 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 318 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 166 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 830 kr.

5.7.8 Rötrest

Då all rötrest beräknas användas som biogödsel för gårdens egna behov är ingen försäljning aktuell. Däremot kommer gödseln ha ett bättre näringsinnehåll än tidigare vilket i slutändan kan resultera i bättre skördar. Lantz 2011 har i sin rapport satt ett värde på biogödseln till 5 kr/ton vv, vilket även har använts för denna fallstudie.

Total nuvärdeskostnad för fall 8 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 974 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 199 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 996 kr.

För att biogasanläggningen efter 20 år ska nå ett nollresultat i nuvärdesberäkningarna skulle biogödseln i basfallet behöva säljas till ett nuvärde av 120 kr/ton vv.

5.7.9 Full tillgång på flytgödsel

Under sommaren går en stor del av gödseln förlorad på betesmarken ur biogassynpunkt då nästan hela gårdens djurbestand är ute på bete. I basfallet har redan rötat substrat återanvänds under denna period för att hålla en jämn nivå i rötkammaren. Ett annat alternativ skulle kunna vara att en närliggande gård förser biogasanläggningen med flytgödsel under betesperioden så att substratnivån hålls jämn året runt. Lantbrukaren skulle i utbyte kunna få högkvalitativt biogödsel tillbaka. En maximal tillförsel av flytgödsel året om skulle öka rötkammarens utnyttjandegrad och ge en större årlig gasproduktion vilket ger utslag i en högre elförsäljningsintäkt.

Total nuvärdeskostnad för fall 9 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 537 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 177 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 844 kr.

5.7.10 Vallhantering

Ifall energimyndighetens förslag angående fullt tilläggsstöd till vall som odlas som biogassubstrat förverkligas skulle kostnaden för vallhanteringen minska, se vidare avsnitt 5.6.5.

Total nuvärdeskostnad för fall 10 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 3 634 000 kr och den årliga nuvärdeskostnaden blev således 182 000 kr. Nuvärdeskostnad per diko beräknades till 908 kr.

5.7.11 Bästa scenario

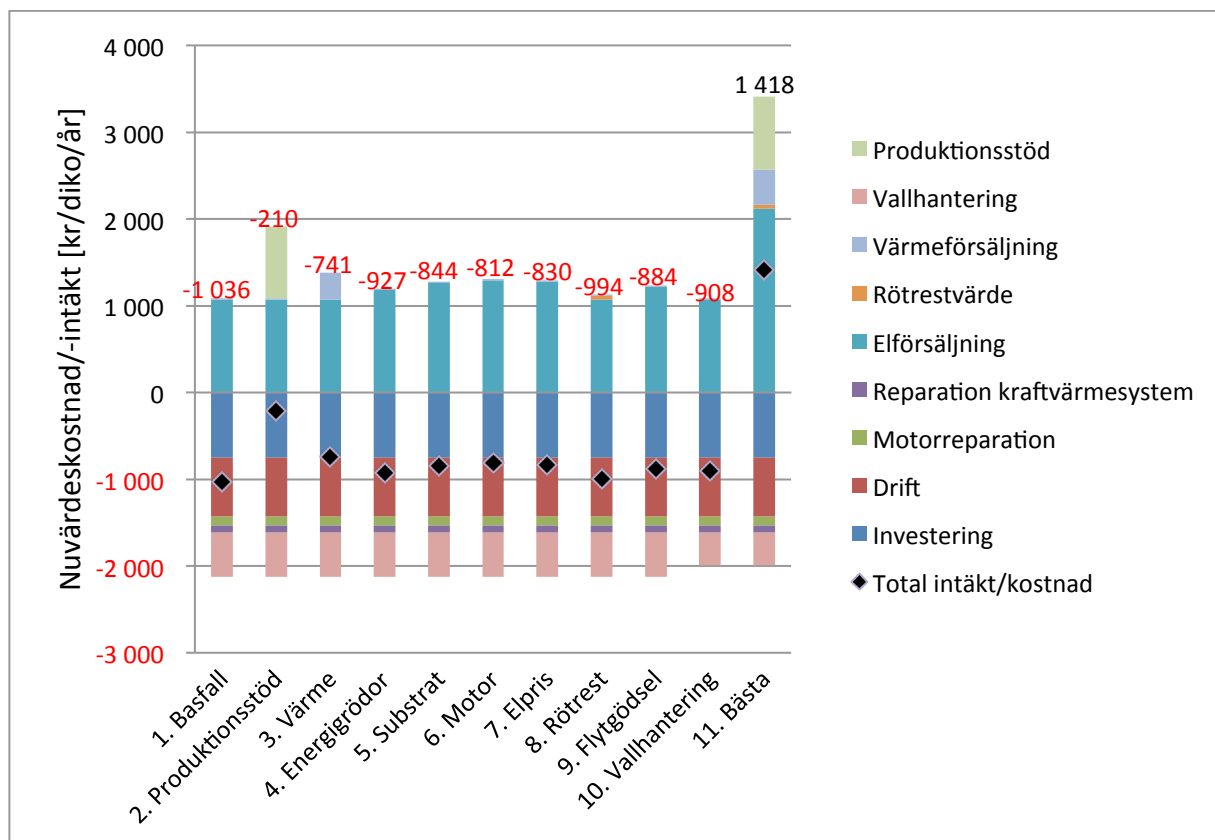
I detta avsnitt har lönsamheten undersökts ifall samtliga tidigare studerade fall antagits gälla samtidigt. Detta har gjorts för att ge en bild av hur lönsam biogasanläggningen skulle kunna bli ifall alla bitar föll på plats, med andra ord biogasanläggningens maximala lönsamhet. Produktionsstöd, värmeavsättning på 180 kr/MWh, ökning av både metanutbytet för både vall och gödsel, högre elverkningsgrad, kraftigare stigande elpris, rötrestvärde på 5 kr/ton vv, full tillgång på flytgödsel året om samt full tilläggsstöd för vallodling beräknas då inträffa för detta fall. I och med att ökade metanutbyten ger mer producerad metangas ökar produktionsbidrags- och värmeinkomsten jämfört med basfallet. Ökade metanutbyten ger även lägre mängd rötrest då en större del material avgått som gas, men det senare antas vara försumbart i sammanhanget.

Total nuvärdesintäkt för fall 11 under anläggningens 20-åriga livslängd beräknades till 5 673 000 kr och den årliga nuvärdesintäkten blev således 284 000 kr. Nuvärdesintäkten per diko beräknades till 1 418 kr.

5.7.12 Sammanfattning ekonomiska beräkningar

I figur 9 ges en sammanfattande bild över de fall som undersökts för gårdsalternativet. Den parameter som ger störst inverkan på ekonomin är produktionsbidraget vilket kan ses som essentiellt för att en biogasanläggning ska kunna bli lönsam på gårdsnivå. I fall 2, där produktionsbidrag lagts på basfallet redovisar dock anläggningen negativt resultat trots den extra inkomsten. Tilläggas bör att i basfallet har ingående parametrar valts med försiktighet för att ge en realistisk, om inte något nedtonad bild, av biogasanläggningens avkastning. De variationer som gjorts i fall 2 till 10 är fullt möjliga och ger även de en realistisk bild av verkligheten men mer åt en optimistisk riktning än för basfallet.

Sammanslås basfallet med de ändringar som gjorts i fall 2 till 10 fås det så kallade bästa scenariet vilket ger en god avkastning under biogasanläggningens livstid. Någonstans inom spannet mellan kostnaden i basfallet och intäkten i bästa scenariot kan lönsamheten för biogasanläggningen i gårdsfallet komma att hamna.



Figur 9. Jämförelse mellan de elva fallen som undersökts i de ekonomiska beräkningarna.

6 Scenario B - Samrötning

För att få fordonsgas krävs en uppgradering av rågasen. Kostnaden för uppgraderingen är kraftigt skalberoende och bör därför ha en kapacitet som överstiger 25 GWh (Roth, 2009). Om anläggningen är mindre blir kostnaderna för uppgradering för stora och investeringen blir olönsam. Exempelvis kostar en uppgraderingsanläggning om 10 GWh ca 25 öre/kWh, vilket är ca hälften av marknadspriset för fordonsgas (Roth, 2009). Eftersom fordonsgasen även ska ge intäkter för att täcka både själva biogasanläggningen samt substratinköp kommer kostnaderna därför bli för stora. För att uppnå rätt volym krävs därför en samrötningsanläggning för flera gårdar, samt hög gårdstäthet. Substrat från andra källor än jordbruket kan också behövas t.ex. avfall från livsmedelsindustrier. Sådana substrat har ofta ett väldigt högt metanutbyte, men på grund av ökad konkurrens om avfallet kan tillgången på sikt vara osäker.

I detta projekt har vi undersökt ett samrötningsalternativ med kapaciteten 30 GWh. Ingående substrat har tagits fram med tanke på den typ av platser vår modellgård är belägen.

Den tänkta modellgården ligger i Svealands slättbygder. Detta område består av ett antal delområden, som utgörs av tre hela län samt fem övriga områden, se tabell 17.

Tabell 17. Definition av ingående områden för Svealands slättbygder.

4 Svealands slättbygder (Ss)
05 Vänerslätten, del av
35 Värmlands län, slättbygden
62 F.d. Skaraborgs län, slättbygden, Svealandsdelen
06 Mälar- och Hjälmabygden
01 Stockholms län
02 Uppsala län
03 Södermanlands län
40 Örebro län, slättbygden
43 Västmanlands län, slättbygder

Ett genomsnitt av gödselresurserna i Stockholms, Uppsala samt Södermanlands län erhålls i tabell 18. Idag finns dock ingen ekonomisk potential att röta gödsel från får och häst, så i detta projekt bortses den resursen.

Tabell 18. Beräknad gödselresurs i Svealands slättlandskap.

Gödselresurs	Mängd (kton TS/år)	Andel (%)
Nöt	141	57
Svin	19	8
Fjäderfä	7	3
Får & häst	81	32
Totalt	248	100

Källa. Total gödselproduktion i tre län i Svealands slättbygder (Lantz, 2010 & Linné et. al., 2008).

Med tabell 18 som underlag för hur tillgången på gödsel kan se ut i närområdet har siffrorna i tabell 19 tagits fram. Vallensilagedelen antas motsvara en fjärdedel av den totala våtvikten, precis som för gårdsalternativet, avsnitt 6.1. Mängden livsmedelsavfall i detta scenario har tagits från en liknande undersökning av Lantz (2010). Våtvikt på 7 000 ton anses nämligen vara ett rimligt belopp på hur

stora avfallsresurser som kan finnas i en samrötningsanläggnings närhet. Viktigt att tänka på är dock att konkurrensen om energirikt avfall hela tiden ökar, och med tiden leda till stora kostnader för anskaffning.

Tabell 19. Mängd och typ av substrat som beräknas kunna rötas i samrötningsalternativet.

Substrat	Våtvikt (ton)	Torrsvikt (ton)	Volym (Nm ³)	Metanutbyte (Nm ³ /ton TS)
Flytgödsel, nöt	42 090	3 788	42 090	160
Fastgödsel, nöt	5 340	1 068	2 670	150
Flytgödsel, svin	9 350	655	9 350	200
Flytgödsel, fjäderfä	340	238	340	150
Vallensilage	16 030	5 290	11 221	260
Livsmedelsavfall	7 000	1 400	5 600	500

6.1 Utformning av biogasanläggningen

Anläggningen antas bestå av två parallella rötkammare på vardera 3 500 m³. Gödseln tas emot i mottagningsbrunn, varefter den hygieniseras i 70° C innan den pumpas in i rötkamrarna. Ensilaget skruvas in direkt i rötkamrarna från fastinmatningsfickor. Efter rötning går gasen till uppgradering i en vattenscrubber, för att avskilja koldioxiden och därmed uppnå fordonsgaskvalitet. Därefter komprimeras gasen till 200 bar och tankas på tankflak. Lastbilar växlar därefter tomma mot fulla flak vid tankväxlingsdepån. Driftsparametrar för samrötningsanläggningen redovisas i tabell 20.

Tabell 20. Nyckeltal i röttningsprocessen.

Nyckeltal	
Organisk belastning	3 kg TS/m ³ dygn
Uppehållstid:	31 dygn
metanhalt i biogas	60 %
TS-halt i rötkammare	8,3 %
Volymflöde	195 m ³ /dygn
Massflöde	220 ton/dygn
Aktiv rötkammarvolym	6043 m ³
Definitiv rötkammarvolym	6829 m ³

6.2 Kostnader och intäkter

Samrötningsanläggningen antas kosta ca 88 miljoner kr vilket är samma investeringskostnad som Börjesson och Lantz (sid 21: tabell 14, 2011) beräknar för en liknande anläggning. I rapporten *Biogas i Färs – förstudie* av Björnsson och Lantz (2010) behandlas lönsamheten för en 42 GWh-anläggning planerad i Skåne rötande gödsel från 43 gårdar. Från nämnd rapport har vissa löpande kostnader kunnat hämtas. Om löpkostnaderna hämtats på något annat sätt än med hjälp av *Biogas i Färs* anges detta i texten. Anläggningens elbehov beräknas vara 4 % av metanproduktionen vilket medför en åtgång för detta projekts biogassystem på 1 200 MWh el årligen. Priset på el inklusive nätavgifter och certifikat beräknas sedan, enligt avsnitt 5.6.2, till 900 kr/MWh. Den årliga kostnaden för elektricitet blir då 1,08 miljoner kr.

Processens värmebehov antas uppgå till 3 600 MWh/år och tillgodoses med hjälp av en flispanna. Värmen kostar 400 kr/MWh vilket ger en total uppvärmningskostnad på 1,4 miljoner kr per år. Den årliga underhållskostnaden sätts i "Biogas i förs" till 2 % av investeringskostnaden. Till denna post läggs även oförutsedda kostnader samt diverse andra löpande kostnader såsom analyser och konsultuppdrag uppgående till 0,6 miljoner kr per år. Underhållskostnaden blir då 2,36 miljoner kr per år. Kostnaden för personal sätts i samma rapport till 1,5 miljoner kr per år, vilket även antas vara en rimlig siffra för vår samrötningsanläggning.

Kostnaden för vallhantering har i denna rapport uppskattats till 1 kr/kg TS vilket är mer än gårdsalternativets 0,56 kr/kg TS. Skillnaden ligger bland annat i att vallodlingen till samrötningsanläggningen inte nödvändigtvis måste vara ekologisk vilket medför att en del stöd försvinner i jämförelse med gårdsalternativet. Andra parametrar som spelar in och som kan skilja sig från scenario A är markpriser, arrendepriiser, stödområde och kostnad för handelsgödsel. Den totala årliga vallhanteringskostnaden uppgår då till 5 290 000 kr.

Transportkostnaden för substrat till biogasanläggning samt rötrest tillbaka till lantbruken beräknas i "Biogas i Färs" uppgå till 3,4 miljoner kr per år. I rapporten utgörs dock allt substrat av gödsel och grödor, vilket har en högre transportkostnad än livsmedelavfall som även rötas i detta projekts anläggning. I beräkningarna antas att förbehandlat matavfall transporteras till anläggningen. Substratinnehavaren av matavfallet står för transporten till anläggningen och ingen mottagningsavgift tas ut för materialet. Enligt Fagerström (2010) är matavfall hårt konkurrensutsatt som rötningssubstrat och det är svårt att ta ut några betydande mottagningsavgifter för detta avfall. Är matavfallet dessutom förbehandlat minskar betalningsförmågan ytterligare. Med förbehandlat matavfall menas att materialet rensas från påsar och att substratet mals ner till flytande form.

Om siffran för substrattransporter i "Biogas i Färs" slås ut per ton våtvikt fås en kostnad av 18,7 öre per ton substrat. Då detta projekts samrötningsanläggning endast rötar ca 73 000 ton substrat i form av gödsel och vall fås istället en total årlig transportkostnad på 1,37 miljoner kr. Den rörliga produktionskostnaden för uppgradering av fordonsgas sätts till 44 kr/MWh, vilket ger en årlig kostnad på 1,3 miljoner kr.

Rötresten som blir kvar då substratet rötas återförs till lantbruken. Rötresten beräknas ha ett nollvärde.

Det är svårt att exakt veta vilket pris fordonsgasen kan säljas till. Samrötningsanläggningens placering i Svealands slättbygd ligger långt ifrån naturgasnätet vilket gör att en påkoppling på nätet är svår att motivera ekonomiskt. En nyligen upprättat biogasanläggningen i Katrineholm har ett samarbete med AGA, där AGA kör fordonsgasen komprimerad i lastbilar för förbrukning i Stockholm. Då samrötningsanläggningen i detta projekt antas vara belägen relativt långt från närmsta storstad anses ej heller Katrineholms lösning som ett lukrativt alternativ. En möjlig närliggande köpare av biogasen är Volvo bussar i Säfte som producerar biogasdrivna bussar (Pöyry, 2009).

I de kommande beräkningarna räknas det pris fram som skulle göra att samrötningsanläggningen ger ett nollresultat. För att investeringen skall vara lönsam bör alltså fordonsgasen kunna säljas till ett högre pris än det beräknade. Som jämförelse kan priset från rapporten *Biogas från gödsel och vall* Björnsson & Lantz (2011) på mellan 6-6,5 kr per Nm³ användas. Ett uträknat nollresultats-fordonsgaspris på över 6,5 kr/Nm³ måste då ses som olönsamt. Tabell 21 sammanfattar

samrötningsanläggningens kostnader och intäkter som används för de ekonomiska beräkningarna för basfallet. I känslighetsanalysen undersöks effekten på fordonsgaspriset ifall produktionsstödet på 200 kr/MWh införs.

Tabell 21. Sammanfattning av kostnaderna respektive intäkterna för samrötningsalternativet.

Anläggningskostnad		
Biogassystem	88 000 000	kr

Löpande kostnader		
El	1 080 000	kr/år
Värme	1 400 000	kr/år
Vallhantering	5 290 000	kr/år
Underhåll	2 360 000	kr/år
Personal	1 500 000	kr/år
Transport gödsel & vall	1 370 000	kr/år
Fordonsgasproduktion	1 300 000	kr/år

Intäkter	Mängd/frekvens	à pris
Fordonsgas	3 101 000 Nm ³	Beräknas för nollresultat kr/Nm ³
Rötrest	74 300 ton vv	0 kr/ton vv
Produktionsbidrag*	30 000 MWh CH ₄	0 kr/MWh

*Antas ge en inkomst på 200 kr/MWh metangas i känslighetsanalysen.

6.3 Ekonomiska beräkningar

De ekonomiska beräkningarna har utförts på samma sätt som för gårdsalternativet, det vill säga med nuvärdesmetoden, och antaganden enligt avsnitt 5.7. Den årliga prisutvecklingen av fordonsgasen antas ligga på 4 %.

Resultatet blir att fordonsgasen måste försälas till ett pris av 5,57 kr/Nm³ för att ett nollresultat ska uppnås. Med andra ord anses investeringen vara någorlunda lönsam eftersom priset understiger 6,50 kr/Nm³ vilket antogs vara gränsen till då investeringen blev olönsam. Om produktionsstödet på 200 kr/MWh metangas utbetalas skulle fordonsgasen behöva säljas till ett pris av 4,02 kr/Nm³ vilket gör samrötningsanläggningen en än mer lukrativ investering.

7 Miljöpåverkan

7.1 Översikt

Ett biogassystem medför en rad miljöeffekter. Utsläppen av spontana läckage av växthusgaser från gödselhanteringen minskar radikalt genom att gödseln rötas. Detta eftersom metangasen tas omhand istället för att avgå till atmosfären. Under röttningsprocessen sker dessutom mineralisering av kvävet i substratet, vilket resulterar i att andelen växttillgängligt kväve ökar. När rötresten sprids på åkrarna kan växterna ta upp mer kväve, vilket resulterar i högre skördeavkastning och minskat kväveläckage.

Producerad biogas kan användas till kraftvärme, processenergi eller fordonsgas. När biogas ersätter fossila bränslen minskar utsläppen av växthusgaser. Dessutom är förbränningen av biogas relativt ren vilket gör att även utsläppen av luftburna partiklar minskar. I följande avsnitt undersöks vilken miljöpåverkan ett biogassystem får för gården i scenario A. Denna påverkan kan i bästa fall vara positiv, vilket innebär att biogasanläggningen bidrar med positiv miljönytta.

I detta projekt undersöks biogasanläggningens påverkan på klimatet genom växthusgasutsläpp. Rekommenderad fördjupningsläsning om biogasanläggningars miljöpåverkan (exempelvis inom andra miljöpåverkanskategorier) finns i litteraturlistan i slutet av avsnittet.

Utsläppen av växthusgaser som uppkommer då ett biogassystem integreras med befintlig produktion redovisas i tabell 22.

Tabell 22. Utsläpp av växthusgaser som sker i och med införandet av ett biogassystem på gården i scenario A.

	Utsläpp av växthusgaser vid gården	Förklaring
1	Uppvärmning av biogasprocessen	Emissioner i samband med värmeproduktion.
2	Elektricitetsbehov drift anläggning	Emissioner från den produktionsmix som elen producerats genom.
3	Emissioner från anläggningen	Läckage vid anläggningen.
4	Emissioner vid biogödsellagring	Läckage från lagringsbehållare.
5	Förändrade emissioner vid spridning av gödsel	Förändrat upptag av kvävet vid spridning. Påverkar N ₂ O-läckage.
6	Förändrad gödselhantering	Gödselhanteringen innan biogassystemet infördes.

Av de utsläppsfaktorer som anges i tabell 22 är det endast nummer 4 och 6 som har signifikant betydelse för utsläppsmängden (Thorning, 2010). Därmed koncentreras beräkningarna i detta projekt till de två faktorerna. Emissioner vid biogödsellagring (nummer 4) är de utsläpp som sker i behållaren från det att substratet lämnar röttningsprocessen fram till spridning på åkern. Förändrad gödselhantering (nummer 6) är de utsläpp som uppkom innan införandet av biogassystemet. Det avser emissioner från lagring av flytgödsel i behållare utan täckning samt djupströgödsel på platta.

7.2 Uppskattad klimatpåverkan från systemet

För att uppskatta vilken miljöpåverkan en ny biogasanläggning (hädanefter kallat "nytt system") får jämfört med att inte ha någon biogasanläggning (hädanefter kallat "tidigare system") jämförs alltså två olika utsläppsfaktorer. Emissionsmängderna är beräknade med hjälp av en studie gjord i Tyskland

(Clemens, 2006). Eftersom klimatet där i medeltal är varmare blir troligtvis utsläppen från en svensk anläggning något mindre än redovisade värden. Detta eftersom metan- och lustgasemissioner är direkt beroende av vilken temperatur gödseln utsätts för.

Alla olika utsläpp har räknats om till koldioxidekvivalenter, det vill säga hur stor mängd koldioxid som skulle krävs för att uppnå samma uppvärmningseffekt på atmosfären.

Nytt system: Emissioner från biogödsellagring.

Tabell 23. Beräknade växthusgasutsläpp från biogödsel, dvs. produkten efter rötning (Clemens, 2006).

	Vinter	sommar	
Rötrestmängd m ³	1 460	1 000	
Kg CO ₂ ekv per m ³	14,8	46,7	totalt
Tot. kg CO ₂ -ekv	21 600	46 700	68 300

För att uppskatta storleken på utsläppen i det nya systemet användes följande förenklingar. Medellagringstiden på rötresten sattes till 6 månader. Därefter sprids biogödseln på samma sätt som i det tidigare systemet. En ytterligare förenkling är att alla gödseltyper har betraktats som flytgödsel. Det är en ganska stor förenkling, eftersom fastgödsel uppskattas ge större utsläpp än flytgödsel (Hushållningssällskapet, 2008). Medan fastgödsel mestadels bidrar till växthuseffekten genom lustgasutsläpp ger flytgödsel framförallt metanutsläpp. Dock är storleken på framförallt lustgasutsläpp väldigt svåra att bedöma, och gjorda analyser visar felmarginaler på mellan 50 och 100 % (IPCC, 2000). Det är därför, men också på grund av svårigheter att hitta bra emissionstal, som denna förenkling är gjord. Dessutom borde det påverka det tidigare systemet i lika stor grad som det nya, och därmed inte spela någon avgörande roll vid tolkning av resultatet.

Tidigare system: Förändring avseende gödselhantering.

Tabell 24. Beräknade växthusgasutsläpp från gödsel (Clemens 2006). Emissionsfaktorerna är tagna från tester med flytgödsel med svämtäcke.

	vinter	sommar	
Flytgödselmängd ton	1 600	460	
Kg CO ₂ -ekv per m ³	17,1	90,5	totalt
Tot. kg CO ₂ -ekv	27 400	41 700	69 100

Eftersom den tidigare hanteringen av gödsel upphör i och med biogasanläggning kan man räkna den som en indirekt miljöeffekt, som alltså då innebär en miljönytta jämfört med tidigare. I övrigt är samma antaganden gjorda som för det nya systemet.

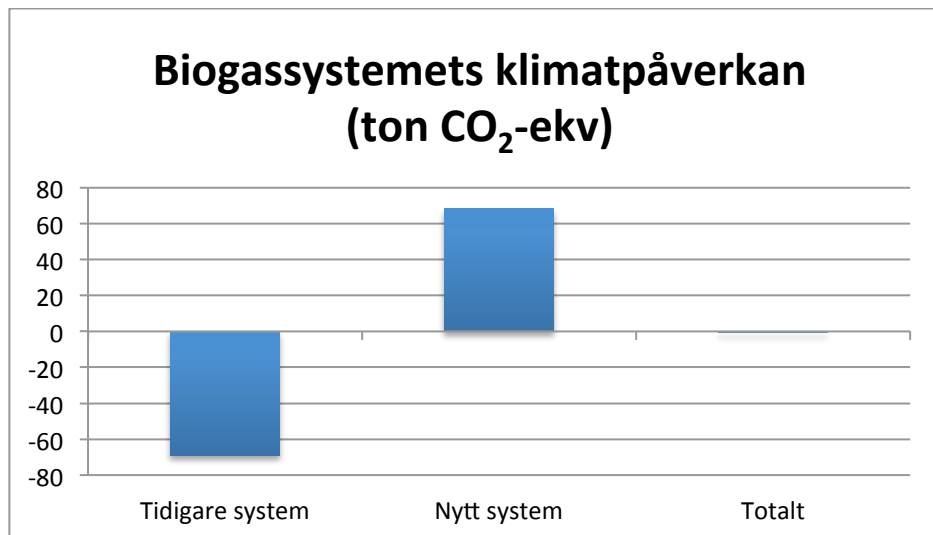
Sammanställning: Miljöpåverkan genom växthusgasutsläpp

Tabell 25. Beräknade växthusgasutsläpp från biogasanläggningen

	Tidigare system	Nytt system	Totalt	
Växthusgasutsläpp	- 69 100	68 300	- 800	kg CO ₂ -ekv

Eftersom det tidigare systemet räknas in som en indirekt effekt kommer den med som en negativ post. Detta eftersom dessa utsläpp upphör i och med det nya systemet.

Det är tydligt att de positiva miljöeffekter som i många fall gäller för biogasanläggningar på gårdsnivå inte blir lika tydliga i detta projekt. Detta beror på att mängden biogödsel är större än mängden ursprungligt gödsel i och med att en stor mängd vall även rötas, som inte ingick i det tidigare systemet. Den ökade vallarealen medför alltså mer gödsel än tidigare och därför minskar utsläppen från gödselhanteringen inte i samma utsträckning som om samma gödselmängd erhållits i det nya systemet. Dock ses en liten miljövinst, men den ligger troligtvis inom felmarginalen.



Figur 10. Modellgårdens klimatpåverkan innan och efter införandet av biogassystemet, samt den totala förändringen i växthusgasutsläpp.

Ersättning av el

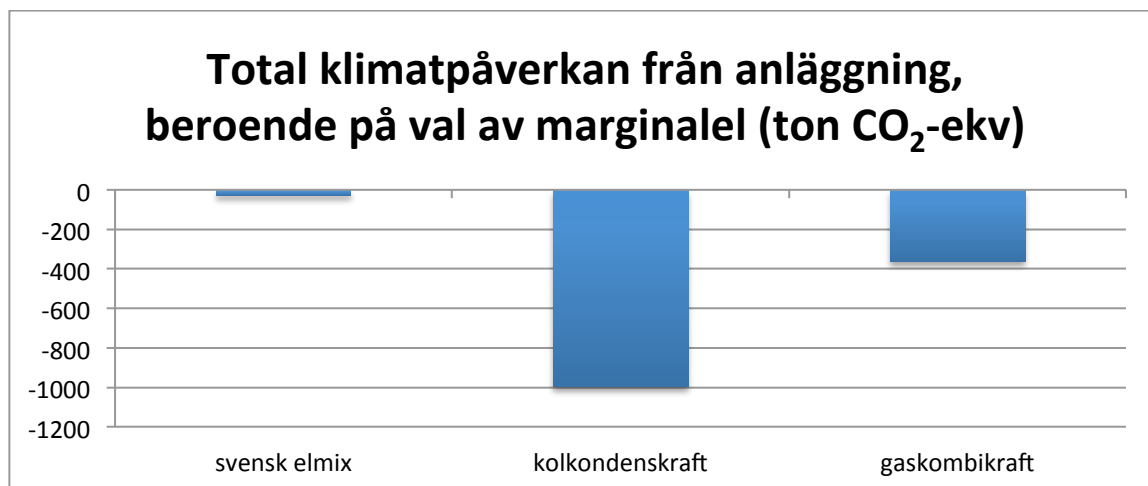
Den största miljövinsten görs i detta fall inte på gårdsnivå, utan när elektriciteten i elnätet ersätts med ny förnybar elektricitet från biogassystemet. Det finns dock flera olika sätt att beräkna hur stor effekt denna faktor har, beroende på vilken el man anser ersättas, vilket även kallas marginalet. Därför beräknas här hur växthusgasutsläppen påverkas med tre olika alternativ. Antingen utgörs marginalet av tysk kolkondenskraftel, eller av dansk gaskombikraftel. I det tredje alternativet ersätter den nya elektriciteten ett snitt av Sveriges elproduktion, dvs. svensk elmix.

Biogasanläggningen kommer att producera 350 MWh el per år. Dessutom kommer ändrad uppvärmning på gården att minska elanvändningen med 5 MWh per år. Detta innebär en besparing av den miljöpåverkan som 355 MWh el står för årligen.

Värmen hade kunnat stå för en liknande miljövinst om den hade ersatt exempelvis en oljepanna. Men i detta fall ersätts vedeldning, vilket även det är en förnybar energikälla. I tabell 26 respektive figur 11 visas vilken klimatpåverkansbesparing biogasanläggningens elproduktion medför för de tre marginaletsalternativen.

Tabell 26. Minskning av växthusgasutsläpp för olika marginalesalternativ.

	svensk elmix	kolkondenskraft	gaskombikraft
g CO ₂ -ekv/kWh primärenergi	38	936	462
Primärenergiandelar	2,1	3	2,2
Koldioxidbesparing (ton CO ₂ -ekv)	28	997	361



Figur 11. Beräknad total klimatpåverkan med olika marginalesalternativ.

7.3 Rekommenderad fördjupning inom miljöområdet

Eftersom tidsramarna för detta projekt inte tillät en större LCA (Livscykelanalys) utan enbart en enklare uppskattning av klimatutsläpp kan man vid intresse fördjupa sig ytterligare inom området. Då rekommenderas rapporterna "Systemoptimerad produktion av fordonsgas" (Lantz et.al., 2009) och "Utredning av biogasproduktion från gödsel" (Thorning et. al., 2010). För en fördjupning i metanets klimatbedömning rekommenderas "IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories" (IPCC, 2000).

8 Diskussion och slutsatser

Biogas har en viktig roll i det framtida energisystemet och det kommer att skapa tillväxtmöjligheter för den gröna näringen i Sverige. För lantbruksföretag med djurhållning finns det stor potential att bli energiproducent då gödsel, odlingsrester och energigrödor är exempel på lämpliga substrat för rötning. Miljönyttan med ett biogassystem integrerat på djurhållande lantbruk är påtaglig. Läckage av metan till atmosfären minskar, vilket är betydelsefullt eftersom metan är en kraftig växthusgas. En annan miljönytta är att halten av växttillgängligt kväve ökar efter rötningsprocessen. Ett effektivare växtnäringssubstrat bidrar till minskad eutrofiering och högre skördar.

När det gäller den ekonomiska aspekten för ett biogassystem är lönsamheten inte lika självklar. I denna rapport visar gårdsalternativet i scenario A ett negativt resultat för samtliga fall förutom det så kallade "bästa scenariot" då flera parametrar varierats till det bättre. En variabel som starkt påverkar lönsamheten är produktionsstödet, vilket skulle utgöra en stor inkomstpost till biogasföretaget ifall ett införande införades. Huruvida stödet kommer införas eller inte är fortfarande oklart och i höstens regeringsbudget (2011) lämnades det inget utrymme.

Idag är el- och värmeproduktion genom förbränning den vanligaste avsättningen för biogas på gårdsnivå. Den producerade elektriciteten är relativt lätt att försälja, medan värmen ofta är svår att få ersättning för. Vid planer på uppförande av ett biogassystem på ett lantbruksföretag behövs därför en undersökning om vilka möjligheter det finns i området för försäljning av värmen. I basfallet antas ingen överskottsvärme kunna försälas, men beroende på den specifika gårdens förutsättningar kan värmen mycket väl tänkas generera en skälig inkomst. I fall 3 beräknades det pris till vilket värmen behövdes försälas för att uppnå ett nollresultat i nuvärdeskalkylen. Här bör påpekas att ett nollresultat när det gäller den totala nuvärdeskostnaden avser att investeringen gett samma utdelning som att ha haft alla investerade pengar på banken med en ränta på 6 % under 20 år. Det värmepris som räknades fram för nollresultat var ca 630 kr/MWh värme vilket kan jämföras med de 655 kr/MWh (Fortum, 2011) som privatkunder i Stockholm betalade under 2011 (därtill tillkom även fasta årsavgifter). Fjärrvärmepriset i Stockholm anses dock vara högt vilket gör det mindre sannolikt att lantbrukaren ska få liknande ersättning för den biogasproducerade värmen.

Laborerar vi lite med kalkylen och räknar fram samma värmepris fast med tillägg att produktionsstödet införs behöver värmen endast säljas till ca 130 kr/MWh för ett nollresultat vilket är under det antagna värdet på 180 kr/MWh som användes i fall 3. Införs produktionsstödet skulle alltså en inte alls omöjlig ersättning för värmen göra att biogasföretaget går med vinst. Som nämnt är det alltså viktigt att vid planer på ett biogassystem undersöka vilka avsättningsmöjligheter som finns för värmen då den utgör en stor del av den producerade energin. Finns förutsättningen för försäljning av värmen ökar de ekonomiska incitamenten för jordbrukaren att upprätta en biogasanläggning vid sin gård.

När det gäller avsättning av värmen skulle en termofil biogasanläggning kunna vara intressant där en större del av den producerade värmen går åt till att höja röttemperaturer. I en termofil anläggning går nedbrytningen snabbare vilket leder till att uppehållstiden kan minskas och därmed minskas även röttemperaturvolymen samt investeringskostnaden. Dagens forskning och biogasprojekt har i hög utsträckning dock inriktat sig på det lägre temperaturområdet (den mesofila rötningen) vilket gör att få erfarenheter finns för termofil rötning i Sverige. Ingen vidare utredning har i detta

projekt gjorts över rötning i det termofila temperaturområdet, men det skulle kunna vara intressant i vidare studier. Värt att påpeka är att termofil rötning är en känsligare process och inte lika robust som mesofil rötning.

I dagsläget är produktion av el och värme från biogasen det vanligaste alternativet för gårdsanläggningar. Forskning pågår dock runt småskalig uppgradering av biogasen till fordonsgas. Diesel till jordbrukets maskinpark är en stor utgiftspost för de flesta lantbruk och tanken på att ersätta dieseln med egenproducerad biogas kan tänkas mycket lockande. Det finns emellertid en del hinder mot detta. Det finns i nuläget inga kommersiella gastraktorer utan endast prototyper som dessutom går på dispens på grund av brister i befintligt regelverk. Det har visat sig på försöksskala att gasdrivna traktorer fungerar bra för så kallade gårdsnära traktorer, det vill säga traktorer som utför arbete på gården i samband med till exempel utfodring. Dessa traktorer behöver inte ha lika stor dragkraft (effekt) som traktorer som används i fält, vilket medför att de klarar sig längre på en tankning.

I rapporten visade det sig att den större samrötningsanläggningen i scenario B ger ett lönsamt resultat under förutsättning att en köpare hittas till fordonsgasen. Flera på senare tid uppförda samrötningsanläggningar, t.ex. i Örebro och Västerås visar på god lönsamhet vilket tyder på att denna typ av biogasanläggning för tillfället är bäst ur ett ekonomiskt perspektiv.

Under rötningsprocessen sker mineralisering av kvävet, vilket medför att halten av det för växterna lättillgängliga ammoniumkvävet ökar. Samtidigt innebär införandet av ett biogassystem att gödselhanteringen förändras. Tidigare skedde spridning av både fast- och flytgödsel men med det nya systemet sker all spridning med flytgödselspridare. Modellgården bedriver ekologisk produktion och det innebär att växtnäringen i form av nötgödsel är extra värdefull. För konventionella gårdar finns det möjlighet att komplettera gödselgivan med handelsgödsel för att på så sätt öka skördeavkastningen men liknande möjlighet medges ej för ekologisk odling. Efter litteraturstudier visar det sig att en metod för att värdera rötresten är att räkna om dess näringsinnehåll till motsvarande mängd NPK samt att därefter beräkna dess pris. Denna metod har emellertid ej tillämpats i denna studie då den inte anses spegla verkligheten. Ekologiska företag har som ovan nämnt inte möjlighet att köpa in handelsgödsel och därför bedöms det inte relevant att basera värdering av rötrestens mervärde på detta.

När det gäller val av energigräs till rötning av biogas finns det flera aspekter att tänka på. Dels visade det sig att skillnaden i rötningspotential mellan de olika gräsen inte var stor. Det som gav utdelning var hur bra skörd gräset gav. Analysen visar också att rörflen är att betrakta som en väldigt lovande biogasgröda, eftersom den ger bra skördar och dessutom har god uthållighet. Även rörsvingel bedöms som mycket bra.

Miljöpåverkan från ett biogassystem är svår att beräkna. Detta eftersom det är så många faktorer som ska vägas in, såsom transporter, emissioner från gödsel, marginalel med flera. I detta projekt gjordes en förenklad miljöanalys som visade vilka konsekvenser ett införande av ett biogassystem skulle få med avseende på utsläpp av växthusgaser. Jämfört med andra studier som gjorts på gårdsbaserad biogas uppvisas inte riktigt lika stora miljöfördelar för studiens modellgård. Detta beror bland annat på att mängden rötrest överstiger mängden gödsel. Anledningen till att mängden rötrest är större än gödselproduktionen innan biogassystemet infördes är att 900 ton vall samrötas med gödseln. Per ton ger emellertid rötresten mindre utsläpp jämfört med orötad gödsel.

9. Källförteckning

9.1 Tryckta källor

Clemens, Trimborn, Weiland & Amon (2006). Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. University of Bonn, Institute of Plant Nutrition, Germany. Institute of Technology and Biosystems Engineering, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Germany. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering, Österrike.

Christensson, Björnsson, Dahlgren, Eriksson, Lantz, Lindström, Mickelåker & Andersson (2009). Gårdsbiogashandbok. Rapport SGC 206.

Geber, Ulrika (2002). *Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (Phalaris arundinacea L.): influence on quality and quantity of biomass for biogas production*. Grass and Forage Science 57. sid 389-394.

Kumm, Karl-Ivar (2009). *Produktionskostnad för grovfoder till köttdjur. Institutionen för husdjurens miljö och hälsa*, Sveriges lantbruksuniversitet.

9.2 Elektroniska källor

Bioenergiportalen (2008). *Bolivia ger både värme och el*.

<http://www.bioenergiportalen.se/?p=1756>

Tillgänglig: 2011-08-17

Björnsson, Lovisa & Lantz, Mikael (2011). *Biogas från gödsel och vall, analys av föreslagna styrmedel*. Envium

<http://www.lrf.se/PageFiles/378/Biogas%20fr%C3%A5n%20g%C3%B6dsel%20och%20vall%2020110329.pdf>

Tillgänglig: 2011-08-17

Björnsson, Lovisa & Lantz, Mikael (2010). *Biogas i Färs –*

Förstudie. <http://envium.se/media/1307/biogas%20i%20f%C3%A4rs%20slutrapport.pdf>

Tillgänglig: 2011-08-18

Blomquist, Christensson & Hansson (2007). *Energigrödor till biogasproduktion, effekter på odlingssystemet*.

<http://www.biogasmitt.se/sites/default/files/imagearchive/PDF/Energigroedor-till-biogasproduktion-effekter-paa-odlingssystemet.pdf>

Tillgänglig: 2011-08-17

Börjesson, Tufvesson & Lantz (2010). *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel, rapportnr 70*. Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Rapport%2070.pdf

Tillgänglig: 2011-10-20

Carlgren, Andreas (2010). *En handlingsplan för fossiloberoende fordonsflotta*. Regeringskansliet.
<http://www.sweden.gov.se/sb/d/7448/nocache/true/a/141518/dictionary/true>
Tillgänglig: 2011-08-02.

Carlsson, My & Schnürer, Anna (2011). *Handbok metanpotential*.
<http://www.sgc.se/?pg=1445651>
Tillgänglig 2011-10-20

Edström, Jansson, Lantz, Johansson, Nordberg & Nordberg (2008). *Gårdsbaserad biogasproduktion. System, ekonomi och klimatpåverkan*. JTI-rapport: Kretslopp och avfall 42.
<http://www.jti.se/uploads/jti/RKA-42-ME.pdf>
Tillgänglig: 2011-09-30

Edström, Mats et al. (2005). *Utvärdering av gårdsbaserad biogasanläggning på Hagavik*. JTI-rapport: Kretslopp & Avfall 31.
http://documents.er.dtu.dk/Projects/Biogasoersund/Library/Report_se_Hagavik.pdf
Tillgänglig: 2011-08-17

Exkova (2011). *Crude fibre*
http://www.exova.ca/index.php?option=com_content&view=article&id=1477&Itemid=&lang=en
Tillgänglig: 2011-11-10

Fagerström, Eric (2010). *Marknadsanalys av substrat för biogasproduktion*. Examensarbete, LTH.
http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Examensarbete%20IMES%20Eric%20Fagerstr%C3%B6m.pdf
Tillgänglig: 2011-10-20

Fortum (2011) *Fjärrvärmepreis Stockholm*
<http://www.fortum.com/countries/se/privat/fjarrvarme/priser/normalpris/pages/default.aspx>
Tillgänglig: 2011-10-31

Geber, U & Tuveesson, M (1993). *Vallväxters egenskaper som producenter av energi- och fiberråvara och som biologiska renare av näringsrika vatten*.
<http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/vaxtodling/VOD43/VOD43.HTM>
Tillgänglig: 2011-10-20

Greppa Näringen (2004). *Praktiska råd nr 5 Din stallgödsel är värdefull*.
www.greppa.nu/download/18.../Praktiska_råd_Nr_5_Stallgödsel_5.pdf
Tillgänglig: 2011-10-31

Hushållningssällskapet (2008). *Klimatsmartare Jordbruk*.
<http://hush.se/attachments/64/2725.pdf>
Tillgänglig: 2011-10-20

IPCC (2000). *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. OECD, Paris

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>

Tillgänglig: 2011-10-20

Jarvis, Åsa & Schnürer, Anna (2009). *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*. Rapport SGC 207, 1102-7371. ISRN SGC-R-207-SE

<http://www.it.uu.se/edu/course/homepage/h2orentek/WWT98/Biogas.pdf>

Tillgänglig: 2011-10-20

Johansson, Anders (1982). *Fälttorkning av energigräs*. Uppsala: SLU, JTI-Rapport 42.

http://www.jti.se/uploads/jti/JTI_Rapport_42.pdf

Tillgänglig: 2011-10-20

Jordbruksverket (2004). *Insådd av italienskt rajgräs i ärter till helsäd*.

<http://www.jordbruksverket.se/download/18.35974d0d12179bec2858000101/Italienskt+rajgr%C3%A4s+och+foderm%C3%A4rgk%C3%A5l2.pdf>

Tillgänglig 2011-11-25

Lantz, Ekman & Börjesson. (2009) *Systemoptimerad produktion av fordonsgas, En miljö- och energisystemanalys av Söderåsens biogasanläggning*, Lunds tekniska högskola, Rapport 69

http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Rapport%2069.pdf

Tillgänglig: 2011-10-20

Lantz, Mikael (2010). *Gårdsbaserad och gårdsnära produktion av kraftvärme från biogas*. Lunds tekniska högskola, rapport nr 71.

http://www.miljo.lth.se/svenska/internt/publikationer_internt/pdf-filer/Produktion%20av%20kraftvärme%20-%20rapport%2071.pdf

Tillgänglig: 2011-08-17

Lehtomäki (2006). *Biogas production from energy crops and crop residues*. University of Jyväskylä, Finland.

<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13152/9513925595.pdf?sequence=1>

Tillgänglig: 2011-10-20

Linné, Ekstrandh, Engelsson, Persson, Björnsson & Lantz (2008). *Den svenska biogaspotentialen från inhemska råvaror*, rapport 2008:02. Avfall Sverige, utveckling.

http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Utveckling/2008_02.pdf

Tillgänglig: 2011-10-20

National Research Council (1972). *Atlas of nutritional data on United States and Canadian feeds*.

<http://books.google.se/books?id=8WkrAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=sv#v=onepage&q&f=false>

Tillgänglig: 2011-10-20

Nordpool (2011). *Elspot monthly prices*.

www.nasdaqomxcommodities.com

Tillgänglig: 2011-07-15

Palmborg, Cecilia (2010). *Odling av rörfilen – strategier för lönsamhet*.

http://rapporter.varmeforsk.se/varmeforskdagarna-2010/pdf/Rorflen-Cecilia_Palmborg.pdf

Tillgänglig 2011-11-25

Prochnov, A (2009). *Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas*.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19546001>

Tillgänglig 2011-10-20

Pöyry Sweden Ab (2009). *Säffle biogas – Förstudie, rapport nr 1*.

<http://www.regiongavleborg.se/download/18.4a34532d126940e3439800011128/>

Rapport_nr_1,_S%C3%A4ffle_biogas-F%C3%B6rstudie.pdf.%20%20I%20de%20kommande
%20beräkningarna%20räknas%20det%20pris%20fram%20som

Tillgänglig: 2011-08-18

Regeringskansliet (2010). *Förnybara drivmedel*.

<http://www.sweden.gov.se/sb/d/2448/a/133555>

Tillgänglig: 2011-08-02.

Roth L, Johansson N och Benjaminsson J (2009). *Mer Biogas! Realisering av jordbruksrelaterad biogas*. Grontmij AB, Malmö.

<http://www.energigas.se/upload/files/publikationer/rapporter/mer%20biogas.pdf>

Tillgänglig 2011-10-20

Scandinavian Seed (2011). *Vallguide 2011*.

<http://www.scandinavianseed.se/attachments/36/650.pdf>

Tillgänglig: 2011-10-20

SLU (2006). *Vallar*.

<http://www.slu.se/Documents/externwebben/nl-fak/norrlandsk-jordbruksvetenskap/NOV/Vallar.pdf>

Tillgänglig: 2011-10-20

Somerville, Youngs, Taylor, Davis & Long (2010). *Feedstocks for Lignocellulosic Biofuel: Scaling Up Alternative Energy*. <http://www.tamu.edu/faculty/tpd8/BICH407/790.pdf>

Tillgänglig: 2011-10-20

Svenska Kraftnät (2011). *Marknadsstatistik för elcertifikatsystemet*.

<https://elcertifikat.svk.se/>

Tillgänglig: 2011-07-15

Svensk Växtkraft AB (2010). *Om växtkraft*.

http://www.svenskvaxtkraft.se/om_vaxtkraft_s263.html

Tillgänglig: 2011-08-17

Swedish biogas international (2011). *Örebro biogas*.

<http://www.swedishbiogas.com/sv/referensanlaeggningsar/sverige/oerebro>

Tillgänglig: 2011-10-16

Thorning et. al. (2010) *Utredning av biogasproduktion från gödsel på mjölkgården Rosdala i sydöstra Skåne*.

<http://www.biogassyd.se/download/18.64075cf012c96962a7d800017403/>

Utredning+biogasproduktion+fr%C3%A5n+g%C3%B6dsel.pdf

Tillgänglig: 2011-10-20

Troedson, R (1993). *Rening av avloppsvatten med olika gräsarter*. Exjobb vid SLU

http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/semin_vaxtodlingslara/SEV930/SEV930.HTM

Tillgänglig: 2011-10-20

Weissbach, Friedrich (2008). *Gas production potential of forage and cereal crops in biogas production*.

[https://www.landtechnik-online.eu/en/archive/2009/issue-52009/energy-production/gas-](https://www.landtechnik-online.eu/en/archive/2009/issue-52009/energy-production/gas-production-potential-of-forage-and-cereal-crops-in-biogas-production/?no_cache=1&user_ktbear_pi1%5Bcmd%5D=form&cHash=7e39c831373855634a8725b407972b85)

[production-potential-of-forage-and-cereal-crops-in-biogas-](https://www.landtechnik-online.eu/en/archive/2009/issue-52009/energy-production/gas-production-potential-of-forage-and-cereal-crops-in-biogas-production/?no_cache=1&user_ktbear_pi1%5Bcmd%5D=form&cHash=7e39c831373855634a8725b407972b85)

[production/?no_cache=1&user_ktbear_pi1%5Bcmd%5D=form&cHash=7e39c831373855634a8725b](https://www.landtechnik-online.eu/en/archive/2009/issue-52009/energy-production/gas-production-potential-of-forage-and-cereal-crops-in-biogas-production/?no_cache=1&user_ktbear_pi1%5Bcmd%5D=form&cHash=7e39c831373855634a8725b407972b85)

[407972b85](https://www.landtechnik-online.eu/en/archive/2009/issue-52009/energy-production/gas-production-potential-of-forage-and-cereal-crops-in-biogas-production/?no_cache=1&user_ktbear_pi1%5Bcmd%5D=form&cHash=7e39c831373855634a8725b407972b85)

Tillgänglig: 2011-10-20

Västra Götalandsregionen (2008). *Biogas på Sötåsen*.

[http://naturbruk.nu/upload/Naturbruk/S%C3%B6t%C3%A5sen/Dokument/Gamla%20dokument/Bio](http://naturbruk.nu/upload/Naturbruk/S%C3%B6t%C3%A5sen/Dokument/Gamla%20dokument/Bio%20gasfolder.pdf)

[gasfolder.pdf](http://naturbruk.nu/upload/Naturbruk/S%C3%B6t%C3%A5sen/Dokument/Gamla%20dokument/Bio%20gasfolder.pdf)

Tillgänglig: 2011-08-17

9.3 Muntliga källor

Erik Erjeby (2011). *Swedish biogas international, affärsområdeschef*. Personlig kommunikation. 2011-07-06.

Lena Forslund (2011). *Swedish biogas international, produktionschef*. Personlig kommunikation. 2011-10-13.

Nordberg, Åke (2011). *SLU, Institutionen för Energi och Teknik*. Personlig kommunikation 2011-08-11

Åström, Helena (2011). *Landskapsarkitektstudent vid SLU*. Personlig kommunikation 2011-08-14

Svensson, Sven-Erik (2011). *SLU Alnarp - Område Agrosystem*. Personlig kommunikation 2011-08-30

BILAGA 1: Modell för beräkning av metanutbyte från vallgrödor

I detta projekt används en matematisk modell för att beräkna biogasutbyte från olika vallgrödor. Därefter jämförs resultatet med tillgänglig litteratordata. Genom att använda den matematiska modellen som bas för beräkning av biogaspotentialen utesluter vi de felkällor som kommer från att hänvisa till laboratoriestudier. Olika studier använder nämligen olika bioreaktoruppställningar, olika uppehållstider och olika rötningsparametrar, vilket leder till dålig jämförbarhet (Weissbach 2008). Principen är att den rötningsbara mängden (FOM) först beräknas, och att biogasutbytet är proportionellt mot denna mängd.

$$\text{FOM} = 969 - \text{XA} + 0,26 * \text{XF} - 0,00300 * (\text{XF})^2 \text{ [g/kg OM]}$$

ekv 1

Förklaring av förkortningar i formeln:

FOM = Fermentable Organic Matter

XA = Crude Ash (Dvs det som blir kvar efter förbränning)

XF = Crude Fibre (Del av cellulosa, hemicellulosa & lignin + aska + tanniner. Ett fodervärde som beskriver hur stor del av substansen som har lågt eller obefintligt näringsinnehåll. Testvärdet erhålls efter både kemiska processer och torkning).

OM = organiskt material (eller VS) (Exova 2011)

Därefter antas att varje kg FOM motsvarar 420 liter metangas. Denna siffra är ett medelvärde som beräknas från de kemiska sammansättningarna hos olika grödor. Genom tester har den även visat sig stämma väl överens med verkligheten (Weissbach 2009).

$$\text{Volym CH}_4 = 420 * \text{FOM}$$

ekv 2

Resultaten i tabell B1 erhålls efter att näringsvärden hämtats från en foderatlas och FOM samt metanpotential därefter beräknats med ekvation 1 & 2 (National Research Council 1972).

Tabell B1. Fodervärden samt beräknad metanpotential för 10 olika energigräs.							
	Crude ash %	Crude fibre %	XA g/kg	XF g/kg	FOM	m ³ CH ₄ / kg VS	m ³ CH ₄ / kg TS
Timotej	2,2	7,4	22	74	949,8	398,9	379,0
Foderlosta	3,8	19,4	38	194	868,5	364,8	346,5
Rörflen	2,5	5,6	25	56	949,2	398,6	378,7
Rörsvingel	2,5	6,2	25	62	948,6	398,4	378,5
Rajsvingel							
Rajgräs	2,4	6,6	24	66	949,1	398,6	378,7
Switchgrass	3,2	19,2	32	192	876,3	368,1	349,7
Elefantgräs	3,7	12,2	37	122	919,1	386,0	366,7
Bermudagräs	3,8	7,9	38	79	932,8	391,8	372,2
Ängsvingel	2,5	8,2	25	82	945,1	397,0	377,1

Källor bilaga 1:

National Research Council (1972). Atlas of nutritional data on United States and Canadian feeds. National Academy Press. Washington, D.C.

Weissbach, Friedrich (2008). *On Assessing the Gas Production Potential of Renewable Primary Products*. Landtechnik 6/2008. Elmenhorst

Weissbach, Friedrich (2009). *Gas production potential of forage and cereal crops in biogas production*. Landtechnik 5/2009. Elmenhorst

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000